

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Institut dopravy**

**Pasivní bezpečnost vozidel**

Vehicles passive safety

Student:

Jakub Černoch

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Richtář, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Jakub Černoch**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R003 Dopravní technika a technologie

Téma:

Pasivní bezpečnost vozidel  
Vehicles Passive Safety

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor problému, legislativa
3. Zkoušky pasivní bezpečnosti, figuríny
4. Hodnocení vybraných vozidel
5. Zhodnocení a doporučení
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Vlk, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Brno: Vlk. 2001  
Svoboda, J.: Teorie dopravních prostředků, Praha: ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-01613-7  
Matějka, R. Vozidla silniční dopravy I, Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

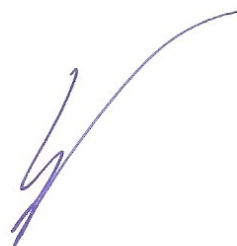
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Richtář, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 16.5.2016.....

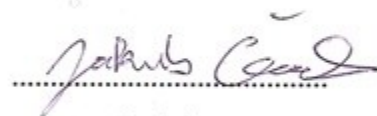
.....  


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2016



Podpis

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jakub Černoch

Petřvald 130

742 60 Petřvald u Nového Jičína

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ČERNOCH, J. *Pasivní bezpečnost vozidel: bakalářská práce.*

Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2016, 56 s.

Vedoucí práce: Richtář, M.

Bakalářská práce se zabývá pasivní bezpečností vozidel. Úvod této práce je zaměřen na seznámení s bezpečností vozidel. Další část práce obsahuje legislativní předpisy zabývající se pasivní bezpečností vozidel a je provedena analýza současných prvků pasivní bezpečnosti ve vozidlech. Dále se práce zabývá zkouškami pasivní bezpečnosti v jednotlivých zemích světa a následným porovnáním rozdílů. V praktické části je uveden matematický model k určení teoretických hodnot deformací přídi a zpomalení vozidel nedestruktivní metodou. Následně je tento matematický model aplikován na vybraná vozidla. Posledním krokem práce je porovnání dosažených výsledků a zhodnocení pasivní bezpečnosti vybraných vozidel. Přílohou této práce je sešit MS Excel s veškerými vypočtenými a naměřenými hodnotami.

**Klíčová slova:** pasivní bezpečnost; zkoušky pasivní bezpečnosti; automobil; agresivita vozidel; kompatibilita

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ČERNOCH, J. *Vehicles passive safety: bachelor thesis.*

Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of engineering, Institute of transport, 2016, 56 p. Thesis head: Richtář, M.

This thesis deals with vehicles passive safety. Introduction of this work is focused with areas of vehicles safety. Another part consist legislative provisions dealing with vehicles passive safety and analysis contemporary elements of vehicles passive safety. Furthermore, the work deals with vehicles passive safety tests in individual countries and their comparison. The practical part includes a mathematical model to determine theoretical values of deformation of the nose and deceleration of vehicles non-destructive method. Subsequently, the mathematical model is applied to the selected vehicles. The last step of the work is comparison of the results and passive safety assessment of selected vehicles. The work is accompanied by MS Excel workbook with all the calculated and measured values.

**Key words:** passive safety; passive safety tests; car; vehicle aggressivness; compatibility

## Obsah

<b>Seznam použitých zkratk</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Legislativa</b> .....	<b>10</b>
2.1. Kategorie silničních vozidel dle EHK .....	10
2.2. Legislativní požadavky .....	10
2.2.1. EHK předpisy pasivní bezpečnosti .....	11
<b>3. Teoretický rozbor problému</b> .....	<b>11</b>
3.1. Vnější pasivní bezpečnost .....	12
3.1.1. Prvky vnější pasivní bezpečnosti .....	13
3.2. Vnitřní pasivní bezpečnost .....	16
3.2.1. Prvky vnitřní pasivní bezpečnosti .....	16
<b>4. Zkoušky pasivní bezpečnosti</b> .....	<b>23</b>
4.1. Biomechanika .....	23
4.2. Figuríny .....	25
4.3. Euro NCAP .....	25
4.3.1. Čelní náraz.....	26
4.3.2. Boční náraz.....	26
4.3.3. Boční náraz na sloup .....	27
4.3.4. Ochrana chodců.....	28
4.4. NHTSA .....	28
4.4.1. Čelní náraz.....	29
4.4.2. Boční náraz.....	29
4.4.3. Test převrácení .....	30
4.5. IIHS .....	30
4.5.1. Čelní náraz.....	31
4.5.2. Boční náraz.....	31
4.5.3. Náraz zezadu .....	31
4.6. JNCAP .....	32
4.6.1. Čelní náraz.....	32
4.6.2. Boční náraz.....	32
4.6.3. Náraz zezadu .....	33

4.7.	ANCAP.....	33
4.8.	Souhrnný přehled nárazových zkoušek .....	34
<b>5.</b>	<b>Vzájemná kompatibilita vozidel při nárazu .....</b>	<b>35</b>
5.1.	Mechanika čelní srážky dvou vozidel .....	35
5.2.	Vliv deformační charakteristiky přídě .....	37
5.2.1.	Obě vozidla mají deformační charakteristiky typu $F_{1,2} = konst_{1,2}$ .....	38
5.2.2.	Obě vozidla mají deformační charakteristiky typu $F_{1,2} = c_{1,2} \cdot \Delta x_{1,2}$ .....	39
5.2.3.	Pro charakteristiku lehčího vozidla $F_1 = konst_1$ a charakteristiku těžšího vozidla $F_2 = c_2 \cdot \Delta x_2$ .....	41
<b>6.</b>	<b>Hodnocení vybraných vozidel .....</b>	<b>43</b>
6.1.	Skutečný výpočet pro vybraná vozidla pro charakteristiku typu .....	44
	$F_{1,2} = konst_{1,2}$ .....	44
6.2.	Skutečný výpočet pro vybraná vozidla pro charakteristiku typu .....	45
	$F_{1,2} = c_{1,2} \cdot \Delta x_{1,2}$ .....	45
6.3.	Skutečný výpočet pro vybraná vozidla pro charakteristiku lehčího vozidla .....	47
	$F_1 = konst_1$ a charakteristiku těžšího vozidla $F_2 = c_2 \cdot \Delta x_2$ .....	47
<b>7.</b>	<b>Zhodnocení a doporučení .....</b>	<b>49</b>
7.1.	Zhodnocení vozidel z pohledu deformací při čelním nárazu.....	49
7.2.	Zhodnocení vozidel z pohledu zpomalení při čelním nárazu .....	52
<b>8.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>55</b>
	<b>Použitá literatura a zdroje: .....</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>59</b>

### **Seznam použitých zkratek**

ANCAP	-(Australia New Car Assessment Programme)
EHK	-(Evropská Hospodářská Komise)
Euro NCAP	-(European New Car Assessment Programme)
Euro SID	-(European Side Impact Dummy-figurína pro boční náraz)
HPC	-(Head Performance Criterion- biomechanické kritérium hlavy)
IIHS	-(Insurance Institute for Highway Safety)
JNCAP	-(Japan New Car Assessment Programme)
NCAP	-(New Car Assessment Programme)
NHTSA	-(National Highway Traffic Safety Administration)
TCFC	-(Biomechanické kritérium stlačení holenní kosti- tibia compression force criterion)
ThCC	-(Biomechanické stlačení hrudníku-Thorax compression criterion)
VC	-(Vision criterion-biomechanické kritérium měkké tkáně hrudníku)
WSU	-(Wayne State University)



## 1. Úvod

Vynález automobilu byl obrovskou senzací, ale také s sebou přinesl mnoho nebezpečí, o kterém zpočátku nebylo ani potuchy. S postupným rozšiřováním tohoto typu dopravy vznikaly i první automobilové nehody, které byly často, i vlivem křehké konstrukce a nebezpečných tvarů, doprovázeny zraněním posádky či osob vně vozidla. Rostoucí počet těchto událostí dal podklad pro vznik snahy lépe chránit účastníky dopravní nehody před zraněním či dokonce smrtí.

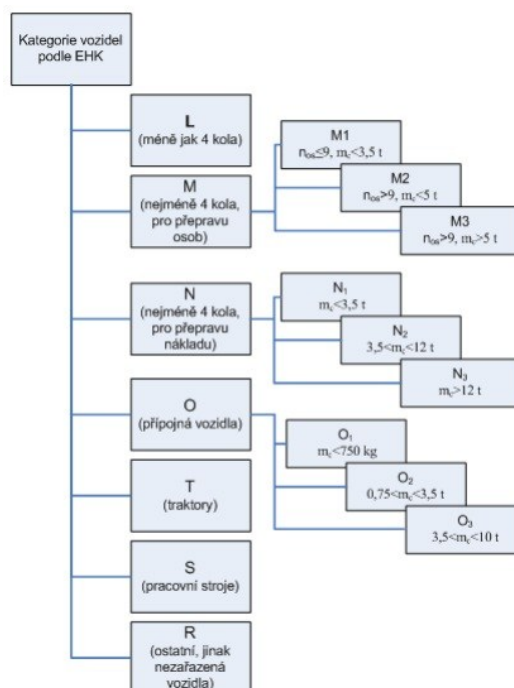
Od těchto dob po současnost zaznamenaly technologie v automobilech mohutný vývoj, zvláště s příchodem a stále větším využíváním elektroniky. Ať už je řeč o jízdních vlastnostech, emisích, komfortu či technické vybavenosti vozidla, nejdůležitějšího a nejvýznamnějšího pokroku bezpochyby dosáhla bezpečnost. Jelikož i přes moderní a vyspělý stupeň aktivní bezpečnosti k nehodám stále dnes a denně dochází, je potřeba věnovat nemalou pozornost bezpečnosti pasivní a proto jsem si ji zvolil jako téma své bakalářské práce.

Výrobci automobilů prakticky neustále vynalézají nové prvky pasivní bezpečnosti nebo minimálně inovují ty stávající a tématem prvního bodu mé práce bude představit ty nejpoužívanější. Po vybavení automobilu těmito prvky je potřeba vyzkoušet i jejich správnou funkčnost ve vozidle, zejména v rizikových situacích. Testování automobilů z hlediska jejich pasivní bezpečnosti probíhá v různých částech světa za rozdílných podmínek, a proto v dalším bodě mé práce budou představeny ty nejznámější světové programy pro testování bezpečnosti a porovnány rozdíly mezi nimi. Cíl práce představuje porovnání vzájemné agresivity vozidel různých tříd vůči sobě při čelním střetu.

## 2. Legislativa

Posuzování úrovně pasivní bezpečnosti není jednotné pro všechna silniční vozidla, ale odvíjí se od jednotlivých kategorií silničních vozidel, které se dělí podle předpisu EHK.

### 2.1. Kategorie silničních vozidel dle EHK



Obr. č. 1 – Kategorie silničních vozidel dle EHK

Zdroj: [4]

Náplní této práce je posuzování pasivní bezpečnosti pro vozidla kategorie M1.

Kategorie M1- motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly, která se používají primárně pro přepravu osob s nejvýše devíti místy k sezení včetně řidiče. Prostor pro náklad nesmí být větší než prostor pro přepravu osob a celková váha vozidla nesmí překročit 3,5 t.

### 2.2. Legislativní požadavky

Každý nový automobil musí být před uvedením do provozu homologován. Pravidla pro splnění homologačních požadavků jsou obsažena v dokumentu s názvem *Dohoda o přijetí jednotných technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání homologací, udělených na základě těchto pravidel*, která vznikla v Ženevě roku 1958. Součástí této dohody jsou i následující EHK předpisy zabývající se pasivní bezpečností vozidel.

### **2.2.1. EHK předpisy pasivní bezpečnosti**

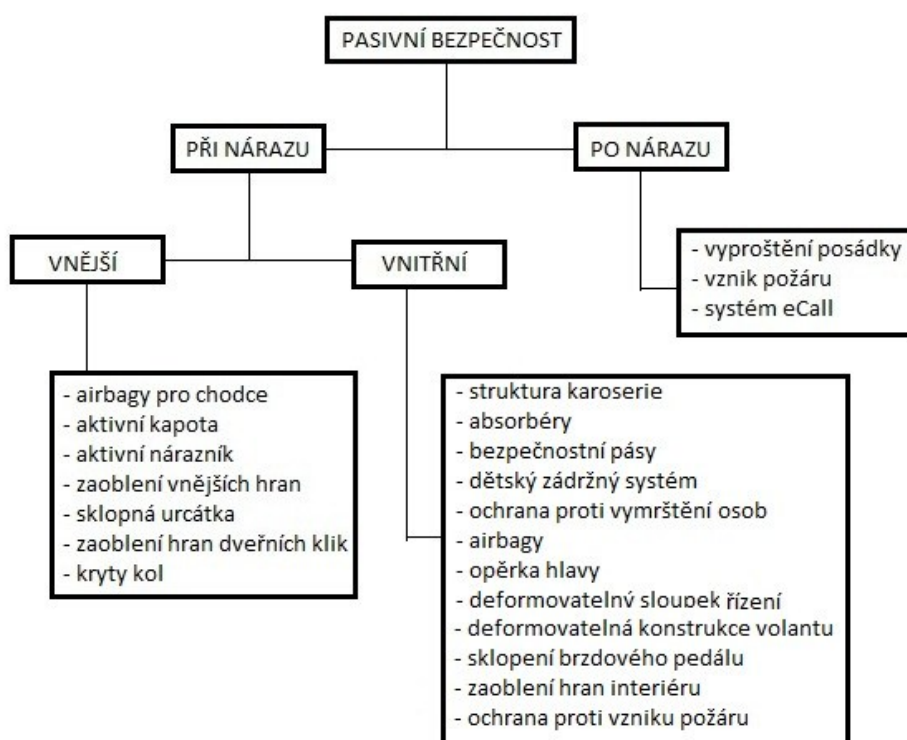
- EHK č. 33 - Jednotná ustanovení pro homologaci z hlediska chování nosné konstrukce vozidla při jeho čelním nárazu
- EHK č. 32 - Jednotná ustanovení pro homologaci z hlediska chování nosné konstrukce naraženého vozidla při nárazu zezadu
- EHK č. 94 - Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska ochrany cestujících při čelním nárazu
- EHK č. 95 - Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska ochrany cestujících při bočním nárazu
- EHK č. 16 – Jednotná ustanovení pro homologaci bezpečnostních pásů a zádržných systémů pro cestující v motorových vozidlech
- EHK č. 44 - Jednotná ustanovení pro homologaci zařízení pro dětské cestující v motorových vozidlech (dětské zádržné systémy)
- EHK č. 42 - Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska jejich předních a zadních ochranných zařízení (nárazníků atd.)
- EHK č. 25 - Jednotná ustanovení pro homologaci opěrek hlavy, které jsou, anebo nejsou, spojené se sedadly vozidla
- EHK č. 12 - Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska ochrany řidiče proti mechanismu řízení v případě nárazu.
- EHK č. 43 - Jednotná ustanovení pro homologaci bezpečnostních zasklívacích materiálů
- EHK č. 34 - Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska ochrany proti nebezpečí požáru
- EHK č. 11 - Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska dveřních zámků a součástí upevnění dveří

## **3. Teoretický rozbor problému**

Bezpečnost, to je hlavní téma současné doby v automobilovém průmyslu, ke kterému přihlíží drtivá většina lidí při koupi vozu. Hlavním z důvodů je bezpochyby stále více rostoucí hustota silničního provozu, ale také technická vyspělost moderních motorových vozidel z hlediska dosahovaných cestovních rychlostí. To vše má za následek zvýšení rizikovosti střetu s jinými motorovými vozidly nebo ostatními účastníky silničního provozu jako jsou cyklisté a samozřejmě také chodci. A proto je v současnosti kladen

velký důraz ochránit nejen posádku vozidla, ale také mnohem zranitelnější účastníky silničního provozu. Snahou a iniciativou ve směru zvyšování bezpečnosti vozidel disponují jak samotní výrobci automobilů, tak stále přísnější požadavky vyspělých zemí, ve kterých má být vozidlo provozováno.

Samotná bezpečnost je v dnešní podobě rozdělena na dvě samostatné skupiny. Aktivní a pasivní. Ač má aktivní složka bezpečnosti za úkol, v moderní době s velkou škálou elektronických pomocníků, nehodě předejít, stále je z velké části závislá na pozornosti a schopnostech řidičů. Pasivní složka bezpečnosti naopak přichází na řadu, když ta aktivní selže a má za úkol zmírnit následky nehody pro její účastníky.



Obr. č. 2- Schéma rozdělení pasivní bezpečnosti

Zdroj: Vlastní zpracování

### 3.1. Vnější pasivní bezpečnost

Tato složka pasivní bezpečnosti je zaměřena na vnější strukturu a provedení vozidla. Bezpečnostní prvky jsou určeny k ochraně chodců, cyklistů a motocyklistů, kteří představují nejzranitelnější účastníky dopravních nehod s automobilem. Kromě těchto zahrnuje vnější pasivní bezpečnost i prvky, které slouží k ochraně posádek ostatních vozidel, spadající pod označení „narázová kompatibilita“. Následující rozbor jednotlivých

prvků vnější pasivní bezpečnosti vychází ze schématu *Rozdělení pasivní bezpečnosti* (obr. č. 2).

### 3.1.1. Prvky vnější pasivní bezpečnosti

#### - Airbagy pro chodce:

Nejzávažnější zranění při srážce s chodcem nebo cyklistou jsou způsobeny úderem hlavy na tvrdou konstrukci motorových částí pod kapotou, na přechod mezi kapotou a spodní hranou čelního skla a čelní sloupky. Airbagy byly původně používány jen pro vnitřní ochranu posádky vozidel, ale výrobci automobilů vyvinuli i vnější systém airbagů pro chodce. Jako první systém představila a uvedla do výroby automobilka Volvo, ale svou podobu řešení předvedla i automobilka Toyota nebo Land Rover.



*Obr. č. 3 – Řešení airbagu pro chodce automobilkou Volvo*

*Zdroj: [5]*



*Obr. č. 4 – Řešení airbagu pro chodce automobilkou Toyota*

*Zdroj: [6]*

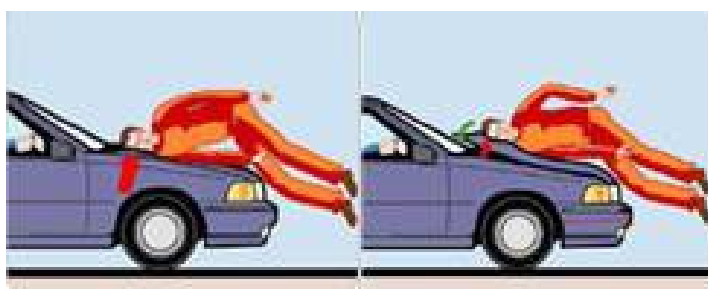
Systém je nejúčinnější při rychlostech v rozmezí 20 – 50 km/h, což jsou dle statistik nejčastější rychlosti při střetu automobilu s chodci. Jedná se v podstatě o rozvinutý vynález jménem „aktivní kapota“. Ke své funkci je využíváno čidel umístěných v předním nárazníku, která jsou schopna rozpoznat kontakt s nohou chodce a vyslat signál do řídicí

jednotky. Ta aktivuje systém airbagů pro chodce a zároveň spustí na závěsech kapoty umístěný pyrotechnický uvolňovací mechanismus, který vytáhne čepy a uvolní zadní část kapoty. Airbagy umístěné pod kapotou ji v průběhu nafukování přizvednou až do výšky 10 cm. Plně nafouknutý airbag „vystele“ nejrizikovější místa, jako jsou čelní sloupky a spodní třetinu čelního skla. Celý proces od signálu ze snímačů až do úplného nafouknutí airbagů trvá maximálně pár setin sekundy. [5]

- Aktivní kapota:

Princip funkce aktivní kapoty byl uveden v odstavci výše. Hlavním smyslem tohoto systému je zvětšení mezery mezi kapotou, která sama o sobě slouží jako deformační prvek a tuhými částmi motorového prostoru. Zlepšuje úhel mezi kapotou a čelním sklem a chrání před kontaktem hlavy s velmi tvrdým prostorem, kde se pojí spodní strana čelního skla s karoserií.

Obrázek č. 5 níže znázorňuje rozdíl mezi střetem chodce s automobilem vybaveným tímto bezpečnostním prvkem a automobilem bez něj, kde kapota představuje tvrdou překážku namísto deformační zóny a mírného tlumení nárazu. [7]



*Obr. č. 5 – Rozdíl následků při střetu s vozidlem bez/s aktivní kapotou*

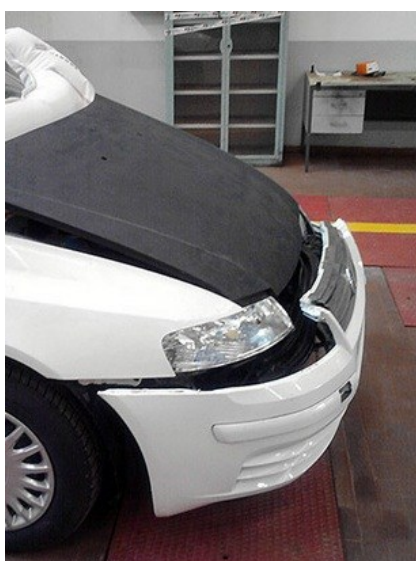
*Zdroj: [7]*

- Nárazníky:

V drtivé většině případů je právě nárazník tou částí vozidla, která v momentě nehody jako první přichází do kontaktu s chodci. Tvar a konstrukce nárazníku je důležitá zejména z hlediska četných poranění a zlomenin dolních končetin, kde nejvíce hrozí zranění kolen. Z důvodu poranění kolen se dbá na umístění nárazníku tak, aby nebyl příliš vysoko. Nárazník by neměl být umístěn ani příliš nízko, jelikož by hrozil vznik velkého točivého impulsu, který by měl za následek větší rychlost úderu hlavy o kapotu. Nárazník by měl být navržen tak, aby mírně vyčníval před vozidlo a v momentě střetu byla v kontaktu s bérceovou oblastí chodce co největší plocha

nárazníku. Toho se výrobci automobilů snaží dosáhnout používáním měkkých materiálů, nejčastěji pružných plastů, k jejich výrobě. Pružný nárazník svou změnou geometrie v přední části vozidla zajistí zvětšení kontaktní plochy s dolními končetinami chodce a zmenší množství ohybu kolene a tím i zmírní následky střetu. Technici automobilky Fiat spolu s výzkumníky na Cranfield University v Anglii experimentují s tzv. „systémem aktivního nárazníku“, konkrétně vysunutím nárazníku pomocí čtyř pružin před vozidlo, čímž v momentě střetu vznikne mezi nárazníkem a karoserií prostor sloužící pro lepší pohlcení vzniklé energie. [8]

Problematika nárazníků je obsažena v předpise EHK č. 42 *Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska jejich předních a zadních ochranných zařízení.*



Obr. č. 6 – Aktivní nárazník automobilu Fiat Stilo

Zdroj: [8]

- Vnější hrany:

Minimalizace ostrých hran a přechodů na přední části automobilu je jedním z řešení jak zmírnit zranění při střetu s nechráněným chodcem.

- Sklápěcí zrcátka:

Zpětná zrcátka se dají považovat za prvek vnější pasivní bezpečnosti, kde je důležitá konstrukce, tvar a materiál. Dřívější pevná zrcátka se vyráběly z kovových materiálů, u kterých hrozilo nebezpečí tržných ran. Kovový materiál byl nahrazen měkkým plastem a zrcátka dosáhla i bezpečnějších zaoblených tvarů. Moderní zrcátka se navíc dají lehce sklopit a tak nepředstavují pevnou překážku.

- Zaoblení hran dveřních klik:

Kliky dveří taktéž prošly tvarovou a materiálovou evolucí, kde vystouplé kovové kliky byly nahrazeny zapuštěnými klikami z plastových materiálů. Na obrázku č. 7 lze vidět porovnání dveřní kliky automobilů z hlediska minimalizace ostrých a vystouplých hran. Vlevo Fiat Dino (r.v. 1970) a vpravo Lancia Dedra (r.v. 1997).



*Obr. č. 7 – Porovnání dveřních klik Fiat Dino r.v.1970 a Lancia Dedra r.v.1997*

*Zdroj: [9]+vlastní zpracování*

- Kryty kol:

Jelikož i kolové šrouby nebo matice mohou pro nechráněné účastníky silničního provozu znamenat nebezpečí poranění, používají se kryty kol k minimalizování tohoto rizika. Kryty kol jsou z tvrdého plastu a nesmí obsahovat ostré hrany.

### **3.2. Vnitřní pasivní bezpečnost**

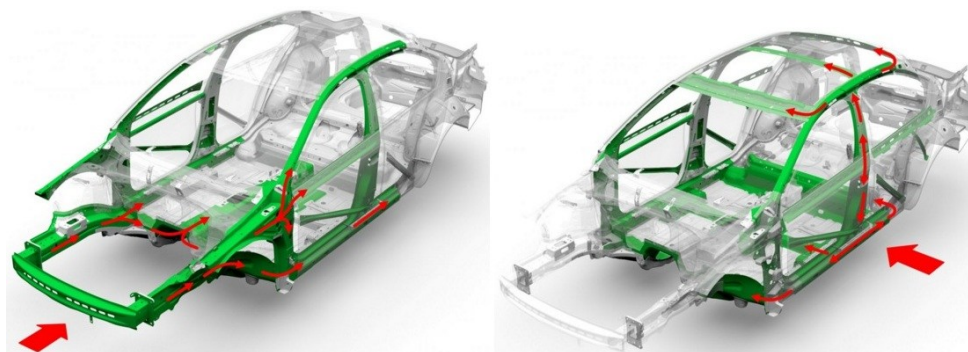
Vnitřní pasivní bezpečnost má za úkol ochránit posádku uvnitř automobilu při srážce s tuhou překážkou, jakou je například jiné vozidlo nebo strom. Vnitřní pasivní bezpečnost je možno dále rozdělit do čtyř samostatných skupin, které se nazývají: struktura karoserie, zádržné systémy, ochrana proti dalšímu nárazu, ochrana proti vzniku požáru. V těchto podskupinách jsou zahrnuty samotné bezpečnostní prvky, které byly již zmíněny ve schématu *Rozdělení pasivní bezpečnosti* (obr. č. 2). Ochranu vnitřních cestujících při nárazu zepředu, zezadu a zboku popisují předpisy EHK č. 94 a 95. [27]

#### **3.2.1. Prvky vnitřní pasivní bezpečnosti**

- Struktura karoserie:



Správná konstrukce karoserie je nejdůležitější prvek vnitřní pasivní bezpečnosti při střetu s tuhou překážkou. Při návrhu struktury karoserie automobilu musejí výrobci vycházet ze dvou základních funkčních požadavků. Prvním je navrhnout deformační zóny, které jsou umístěny vpředu a vzadu tak, aby v momentě nehody svou deformací zajistily dostatečné absorbování vzniklé energie a tudíž nebyly překročeny limitní hodnoty biomechaniky pro zpomalení lidského těla. Bezpečnosti karoserie přispívá i vhodné rozložení sil působících při nárazu, což má za následek snížení celkového namáhání, kterému musí karoserie odolat. [10]



*Obr. č. 8 – Rozložení sil do karoserie při nárazu zepředu a zboku*

*Zdroj: [10]+vlastní zpracování*

Druhým funkčním požadavkem je zajistit, aby deformační zóny byly zároveň dostatečně tuhé a nedošlo k narušení vnitřního prostoru pro přežití posádky (kabiny). Kabina musí prokazovat odolnost a ochranu cestujících, kromě čelního a bočního nárazu, také při převrácení vozidla nebo při posunutí nákladu v nákladním prostoru. V případě vážnější nehody, kde dojde k deformaci kabiny a narušení prostoru pro přežití, musí konstrukce kabiny umožnit vyproštění posádky. [11]



*Obr. č. 9 – Deformační zóny automobilu*

*Zdroj: [11]*

Řešením problematiky v oblasti chování nosné konstrukce vozidla při nárazu zepředu a zezadu popisují výše zmíněné předpisy EHK č. 33 a 32.

- Absorbéry:

Lepšímu pohlcování energie vzniklé nárazem v deformačních zónách napomáhá konstrukční prvek tzv. „absorbér“. Nejrozšířenější způsob absorbování energie je vlivem elasticko-plastické deformace plechové struktury (obr. č. 10.).



*Obr. č. 10 – Absorbér nárazové energie z vozu Opel Corsa*

*Zdroj: [12]*

Méně rozšířenými jsou hydraulické a pneumatické absorbéry (tlumiče), které pracují na principu vnitřního tření v kapalině nebo plynu. V moderních vozech se však stále více používají absorbéry vyrobené z EPP (expandovaný polypropylén), který vyniká zanedbatelnou hmotností, vynikající absorpcí energie a elasticitou. Jelikož je možnost realizování tohoto prvku v rozmanité geometrii, jsou používány jako výplň nárazníků, dutiny dveří, kde jsou deformační zóny velmi omezené, ale také jako tlumící vložky v prostoru nohou.



*Obr. č. 11 – Absorbér vyrobený z expandovaného polypropylénu*

*Zdroj: [13]*

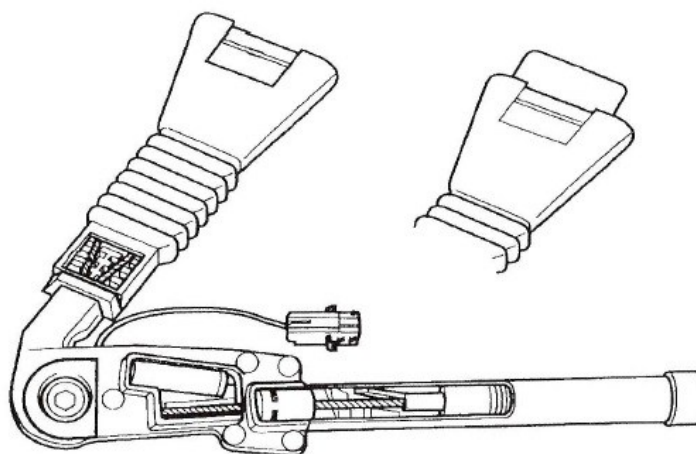
Problematika absorberů nárazu je obsažena v předpise EHK č. 42 *Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska jejich předních a zadních ochranných zařízení*.

- Bezpečnostní pásy:

Použití bezpečnostního pásu v automobilech je jedním z nejstarších a zároveň nejdůležitějších vynálezů pro ochranu cestujících ve vozidle. Struktura karoserie a její deformační prvky významně pomáhají, v případě nárazu do pevné překážky, snížit zpomalení vozidla, ale lidské tělo by vlivem setrvačné síly pokračovalo vpřed. V takovém případě hrozí vážné následky způsobené nárazem do pevných částí interiéru se zpomalením, které odpovídá nárazové rychlosti, a které je mnohem větší než zpomalení vozu. Bezpečnostní pás má funkci zádržného systému, který zajišťuje, aby tělo sedící osoby mělo stejné nebo menší zpomalení než samotné vozidlo.

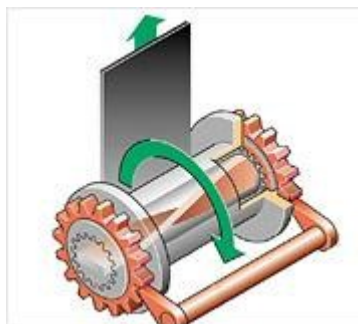
V minulosti byl jako první použit bezpečnostní pás dvoubodový, ale vzhledem k jeho nedostatečnému přínosu byl velmi rychle nahrazen pásem třibodovým, který se v běžných automobilech používá dodnes. Existují sice i pásy čtyřbodové, pětibodové, šestibodové, sedmibodové dokonce i osmibodové, ale všechny tyto typy se využívají spíše v odvětvích motorsportu.

Mechanismus moderních pásů je vybaven pyrotechnickým napínačem a omezovačem tahu, které pomáhají ke zmenšení zpomalení na rozdíl od starších typů bezpečnostních pásů se zasekávacím mechanismem. Pyrotechnický napínač (obr. č. 12) dokáže při nehodě zkrátit bezpečnostní pás až o 150 mm, čímž zabraňuje tzv. „volné dráze pásu“. To je možno definovat jako dráha pásu, uražená do doby, než pás pevně přilehne k tělu. Mechanismus je uveden do činnosti pomocí čidla, které, když zaznamená kritické hodnoty zpomalení, vyšle elektrický impulz do roznětky. Roznětka zapálí hnací náplň a píst svým pohybem ve válci napíná ocelové lanko, které je k němu připevněno. Naopak omezovač síly v tahu (obr. č. 13) zajišťuje, aby síla v pásu nebyla překročena za kritickou hranici biomechaniky lidského těla. Při přesáhnutí hodnoty 5 KN (500 kg), dojde k aktivaci mechanismu a vlivem deformace torzní tyče i ke zmenšení síly pásu na lidské tělo (zpomalení bude „jemnější“). [1,20]



*Obr. č. 12 – Pyrotechnický napínač bezpečnostního pásu*

*Zdroj: [1]*



*Obr. č. 13 – Omezovač síly bezpečnostního pásu v tahu*

*Zdroj: [15]*

Pro zvýšení efektivity bezpečnostních pásů je důležité i tvarové provedení sedadla. Spodní část sedadla má tvar směrem dopředu nakloněné rampy, která zabraňuje podklouznutí těla pod pásem, zejména v pánevní oblasti. Problematikou zádržných systémů se zabývá výše zmíněný předpis EHK č. 16.

- Dětský zádržný systém Isofix:

Pro bezpečnější jízdu dětí v automobilech jsou užívány dětské autosedačky. Tato povinnost se vztahuje na děti do výšky 150 cm nebo váhy 36 kg. Důležitou roli ve funkci autosedačky hraje i její bezpečné ukotvení. V tomhle ohledu je velice rozšířený systém Isofix, který umožňuje jednoduché a pevné připevnění autosedačky přímo ke karoserii automobilu a pomáhá zamezit nežádoucímu pohybu dopředu a do boku. Upevnění dětské sedačky probíhá za pomoci kotevních bodů, kterými musí být vybaven každý expedovaný automobil od února 2011. Problematikou dětských zádržných systémů se zabývá výše zmíněný předpis EHK č. 44.



*Obr. č. 14 – Způsob ukotvení dětské sedačky do kotevních bodů Isofix*

*Zdroj: [16]*

- Ochrana proti vymrštění osob - zámky a závěsy dveří, skla:

Mezi zádržné systémy patří i zámky a závěsy dveří, jejichž konstrukce zajišťuje, aby se v případě nehody dveře neotevřely nebo dokonce neoddělily od vozu.

Konstrukce automobilových skel byla taktéž poznamenána zvyšujícími se požadavky na bezpečnost. Mezi dvě vrstvy skla je vkládána bezpečnostní fólie, která přináší větší pevnost, pružnost a schopnost odolávat nárazům tupých předmětů. Sklo drží svou konzistenci i v případě rozbití. A pokud dojde k tříštění skla, vznikají malé neostře plošky minimalizující nebezpečí pro člověka. Problematikou zámků a závěsů dveří se zabývá výše zmíněný předpis EHK č. 11 a ustanovení z hlediska bezpečnostních skel jsou obsaženy v předpise EHK č. 43.

- Airbagy:

Tento prvek vnitřní pasivní bezpečnosti byl vynalezen roku 1952, ale v automobilu byl poprvé použit až v roce 1972 firmou Chevrolet. Airbag je vak, který se při zaznamenání limitních hodnot nárazu nafoukne a chrání posádku před dalším nárazem do vnitřních částí interiéru. K aktivaci dojde pomocí senzorů, které zaznamenávají hodnoty zpomalení pro všechny směry, a dále se přes řídicí jednotku airbagů spustí chemická reakce. Produktem této reakce je plyn, který nafoukne airbag v řádu milisekund ( $1 \text{ ms} = 0,001 \text{ s}$ ) a při kontaktu s lidským tělem se pomalu vyfukuje vlivem výdechů a prodyšnosti látkového materiálu. V dnešní době jsou používány i airbagy boční, čelní airbagy pro posádku sedící vzadu, anebo airbagy v oblasti nohou. Důležité je zmínit, že airbagy nejsou náhradou bezpečnostních pásů, jak se dříve myslelo, nýbrž

jen doplněk, který velmi výrazně zvyšuje efektivitu vnitřní pasivní bezpečnosti z hlediska poranění hrudníku a hlavy až od 75%. [17]

Problematikou zádržných systémů se zabývá rovněž výše zmíněný předpis EHK č. 16.



*Obr. č. 15 – Systém airbagů v činnosti*

*Zdroj: [17]*

- Opěrka hlavy:

Touto problematikou se zabývá výše zmíněný předpis EHK č. 25. Princip hlavové opěrky je, vedle komfortu cestujících, ochrana před náhlým pohybem hlavy směrem dozadu a tedy vznikem poranění krční páteře. Hlavová opěrka by měla být nastavitelná, aby bylo možné vhodně přizpůsobit její polohu pro jednotlivou výšku člověka. Polohování opěrky se uskutečňuje pomocí aretačního mechanismu a drážek na rámu, který se vysouvá a zasouvá do horní části sedadla. Aktivní hlavová opěrka je modernizace té mechanické a při nehodě se vysune její přední část směrem dopředu a zmenší vzdálenost mezi opěrkou a hlavou člověka. [18]



*Obr. č. 16 – Aktivní opěrka*

*Zdroj: [18]*



- Deformovatelný sloupek řízení:

Bezpečná konstrukce sloupku řízení umožňuje absorbování energie nárazu a tím zamezení případnému vniknutí do těla řidiče a způsobení vážných zranění. Touto problematikou se zabývá výše zmíněný předpis EHK č. 12.

- Deformovatelná konstrukce volantu:

Stejně jako sloupek řízení i volant má patřičné deformovatelné vlastnosti za účelem snížení rizika poranění řidiče.

- Sklopení pedálu:

Řidič se snaží do poslední chvíle nehodě předejít a proto má většinou nohu na brzdovém pedálu, kde mu při nehodě hrozí zranění nohou v podobě například zlomenin. Z tohoto důvodu jsou brzdové pedály konstrukčně řešeny tak, že se v případě nehody sklopí k podlaze a tím sníží riziko poranění.

- Interiér:

V interiéru vozidla by se neměly nacházet žádné ostré hrany a kovové předměty, které by mohly zapříčinit další zranění.

- Ochrana proti vzniku požáru po nehodě:

Touto problematikou se zabývá výše zmíněný předpis EHK č. 34. Podstatou je zvyšování odolnosti palivového potrubí a palivové nádrže a tedy minimalizovat v případě nehody riziko úniku paliva a případného vzniku požáru.

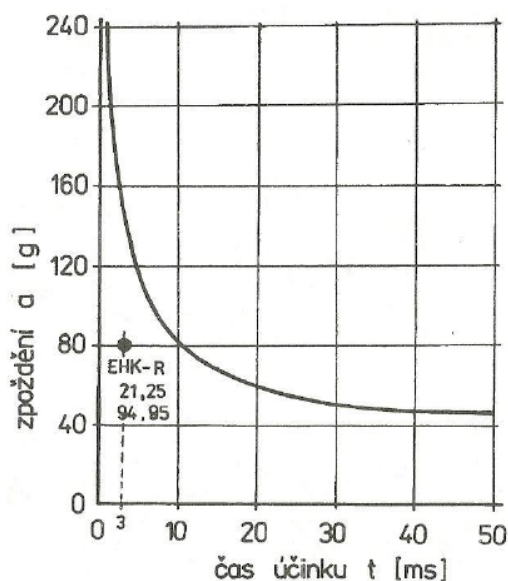
## **4. Zkoušky pasivní bezpečnosti**

Zkouška pasivní bezpečnosti je komplexní praktický test automobilu, pomocí kterého probíhá ověřování správné funkčnosti pasivních bezpečnostních systémů a následně se vyhodnocuje úroveň bezpečnosti daného vozidla.

### **4.1. Biomechanika**

Biomechanika je vědní obor, který se zabývá mechanickou odolností lidského těla a stanovuje mezní hodnoty a údaje o kritické pevnosti tkání, orgánů a jejich seskupení (hlava, trup, končetiny apod.). Náplní biomechaniky je lokalizace a rozložení sil působících na lidské tělo vlivem zrychlení nebo zpomalení při nehodě. Nejčastějším a také nejnebezpečnějším důsledkem nárazu je zranění hlavy. Limity pro kritické zatížení

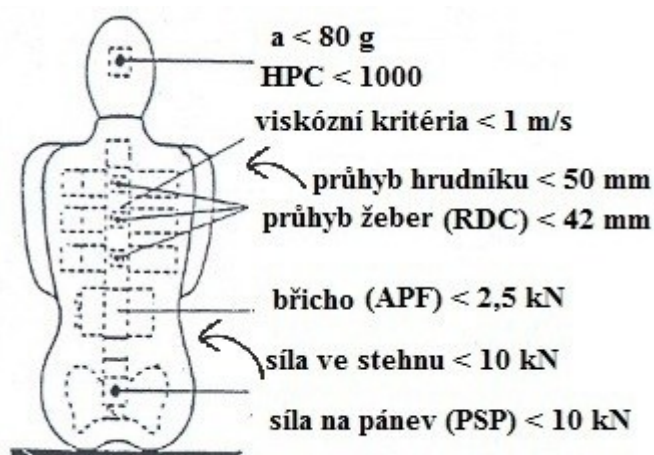
lidského mozku byly určeny na základě WSU- křivky (Wayne State University), která udává translační zpoždění hlavy v závislosti na době účinku (obr. č. 17). Hodnoty nad WSU - křivkou jsou považovány za životu nebezpečné, hodnoty pod křivkou za únosné.[1]



Obr. č. 17 – WSU – křivka

Zdroj: [1]

Na základě této křivky byl stanoven limit pro špičkové zpoždění hlavy 80g po dobu trvání 3 ms (1 ms = 0,001 s). Biomechanické kritérium hlavy HPC (head performance criterion) nesmí při zkoušce nárazu přesáhnout hodnotu 1000.



Obr. č. 18 – Biomechanické limity lidského těla

Zdroj: [1]+vlastní zpracování

Při zkoušce čelního nárazu nesmí ohybový moment šíje okolo osy přesáhnout 57 Nm, biomechanické stlačení hrudníku (ThCC) nesmí přesáhnout 50 mm a kritérium stlačení



holenní kosti (TCFC) musí být menší než 10 kN. Kritérium měkké tkáně hrudníku VC (vision criterion),  $VC \leq 1,0$  m/s (platí pro čelní a boční náraz podle předpisů EHK- 94,95).

#### 4.2. Figuríny

Vynález testovacích figurín znamenal obrovský průlom v testování pasivní bezpečnosti vozidel, protože testování mohlo probíhat za neomezených podmínek a hlavně bezpečně na rozdíl od testování před vynálezem figurín, kdy do vozu usedali dobrovolníci. V dnešní době jsou nejrozšířenější figuríny Hybrid III a SID I. Figurína Hybrid III je určena k měření čelních nárazů, zatímco figurína SID I je svou konstrukcí uzpůsobena k měření nárazů z boku. Oba typy figurín se díky moderní technologii svými proporcemi a fyziologickými vlastnostmi blíží živému člověku. Hlavní části (hlava, páteř, žebra atd.) jsou vyrobeny z oceli a obaleny pryží. V tělech figurín, hlavně pak v nejvíce rizikových částech (hlava, krk, hrudník, pánev, kolena, bérce), je zabudováno okolo 40 - ti různých senzorů, které zaznamenávají vše, co se s tělem figuríny při nehodě děje. Výsledná míra poranění figuríny se značí pomocí 4 barev (zelená, žlutá, hnědá a červená), které jsou podle míry poranění přiřazeny konkrétním částem těla. [1]



*Obr. č. 19 – Konstrukce figuríny Hybrid III*

*Zdroj: [19]*

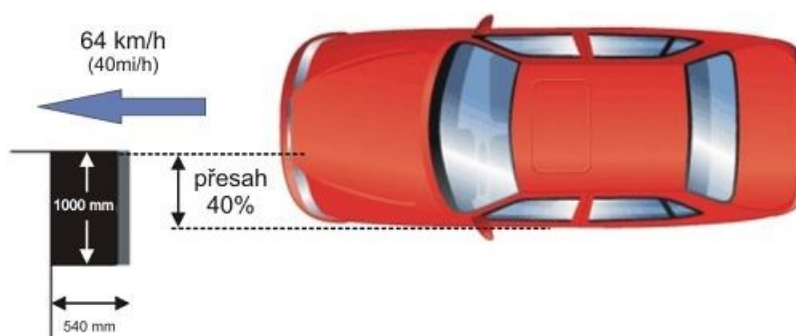
#### 4.3. Euro NCAP

Euro NCAP (v překladu Evropský program hodnocení nových vozů) je evropský spotřebitelský test bezpečnosti nových vozů, jehož cílem je hodnocení pasivní bezpečnosti automobilů všech značek pomocí nárazových zkoušek. Je jedním z devíti programů spadající pod NCAP, který byl vytvořen po celém světě za účelem zvýšení úrovně bezpečnosti automobilů. Testovaný automobil je po skončení testu ohodnocen body

v rozmezí 0 – 40, tomu odpovídá počet dosažených hvězdiček bezpečnosti v rozmezí 0 – 5 možných. Posádka automobilu se skládá ze dvou dospělých figurín připoutaných bezpečnostními pásy na předních sedačkách a dvou dětských figurín vzadu na dětských sedačkách přímo dodaných nebo doporučených výrobcem testovaného automobilu. V rámci Euro NCAP se provádí čtyři druhy testů, mezi které patří čelní náraz, boční náraz, boční náraz na sloup a střet s chodcem. [21,27]

#### 4.3.1. Čelní náraz

Při čelním střetu s protijedoucím vozidlem je dle statistik náraz málokdy situován na celou plochu přední části vozidla. Z toho důvodu je testovaný náraz proveden s přesazením tak, že nárazová plocha činí pouze 40% celkové plochy přední části vozidla. Vozidlo je vymrštěno rychlostí 64 km/h proti pevné překážce, jejíž deformační vlastnosti jsou srovnatelné s jiným automobilem. Při nárazu se hodnotí míra ochrany jednotlivých částí těla (hlava, krk, hrudník, nohy), ale také síly působící na tělo vlivem bezpečnostních pásů, nebo rychlost zpomalení vozidla. Dále se hodnotí stabilita vnitřního prostoru kabiny, který musí zůstat nenarušen. Při tomto testu se využívá figuríny typu Hybrid III. Čelní náraz je jedním ze dvou nejčastějších scénářů dopravní nehody, a proto je jeho bodová váha 16 bodů z celkových 40. [21,27]



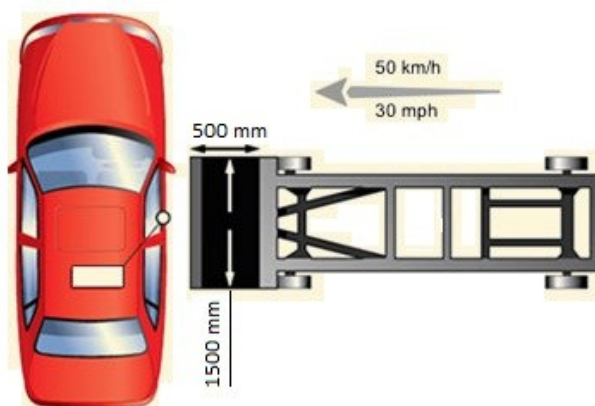
Obr. č. 20 – Provedení čelního nárazu podle Euro NCAP

Zdroj: [27]

#### 4.3.2. Boční náraz

Druhým nejčastějším scénářem dopravní nehody je náraz vozidla do boční strany vozidla druhého, a proto má tento test bodovou váhu také maximálně 16 bodů z celkových 40-ti. Při simulování bočního nárazu je mobilní deformovatelná bariéra naražena rychlostí 50 km/h do boční strany stojícího vozidla, konkrétně do dveří řidiče. Protože při tomto

testu je zatížení hlavy, hrudníku, břicha a pánve odlišné od čelního nárazu, je použita figurína typu SID I. [21,27]

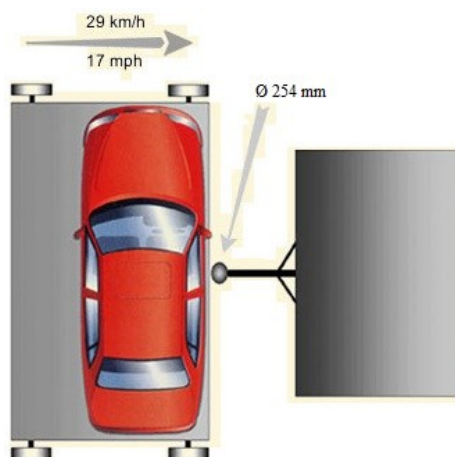


*Obr. č. 21 – Provedení bočního nárazu podle Euro NCAP*

*Zdroj: [27]*

#### **4.3.3. Boční náraz na sloup**

Při tomto typu testu je vůz, uchycený na katapultujícím vozíku, bočně vymrštěn rychlostí 29 km/h na pevnou překážku v podobě ocelového sloupu o průměru 254 mm. Dopad je směřován vertikálně na hlavu figuríny. Test simuluje boční náraz vozidla například do stromu nebo lampy. Provádění tohoto typu zkoušek a poměrně špatné výsledky testovaných automobilů mělo za následek rozšíření používání bočních airbagů v oblasti hlavy, pánve nebo tzv. záclonových airbagů. [21,27]



*Obr. č. 22 – Provedení bočního nárazu na sloup podle Euro NCAP*

*Zdroj: [27]*

#### 4.3.4. Ochrana chodců

Od roku 2008 je do programu Euro NCAP zahrnuto i testování střetu s chodcem. Náraz probíhá v rychlosti 40 km/h a posuzuje se míra ochrany bérce při úderu do nárazníku, míra ochrany vrchní části spodní končetiny případně pánevní oblasti vlivem nárazu do spodní hrany kapoty a jako třetí hodnotící kritérium je míra ochrany hlavy při úderu o kapotu. Test se neprovádí pouze jednou, jako tomu bylo u těch předešlých, ale uskutečňuje se celá série s posuzováním zvlášť dospělých i dětských chodců. Počet testů v sérii zvyšuje i fakt, že je velmi obtížné směřovat srážku tak, aby části těla figuríny dopadly přesně na potřebná místa automobilu. Proto se místo kompletní figuríny používají pouze její jednotlivé části, které jsou přímo směřovány na určenou nárazovou plochu automobilu. Reakcí automobilek na tuto zkoušku a její počáteční špatné výsledky je lépe deformovatelná konstrukce nárazníku, minimalizace ostrých hran a tvrdých konstrukcí přední části kapoty nebo také přidáním vnějších bezpečnostních prvků v podobě aktivní kapoty a airbagu pro chodce, které byly představeny v kapitole č. 3.1.1. *Prvky vnější pasivní bezpečnosti.* [28]



Obr. č. 23 – Test ochrany chodců podle Euro NCAP

Zdroj: [28] + vlastní zpracování

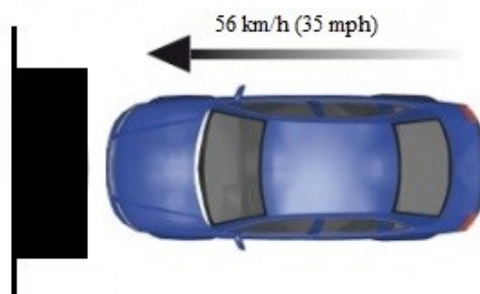
#### 4.4. NHTSA

NHTSA (v překladu Národní úřad pro bezpečnost provozu na dálnicích) je americká organizace, která provádí testy bezpečnosti v rámci programu NCAP. Během nárazových zkoušek jsou 2 dospělé figuríny, zajištěné bezpečnostním pásem, na předních sedadlech a hodnocení míry bezpečnosti vozidla probíhá formou hvězdiček v počtu 1-5 stejně jako tomu je u evropského programu Euro NCAP. [22,23]

Uskutečňovány jsou následující typy testů:

#### 4.4.1. Čelní náraz

Zkouška čelního nárazu zde probíhá přibližně za stejných podmínek jako u předchozího programu Euro NCAP. Největší odlišností je samotný náraz, který je uskutečněn do pevné překážky bez deformačních vlastností v podobě zdi. Rychlost vozidla v momentě nárazu je 56 km/h (35 mph). Ve vozidle se nacházejí 2 dospělé figuríny na místě řidiče a spolujezdce. [22,23]

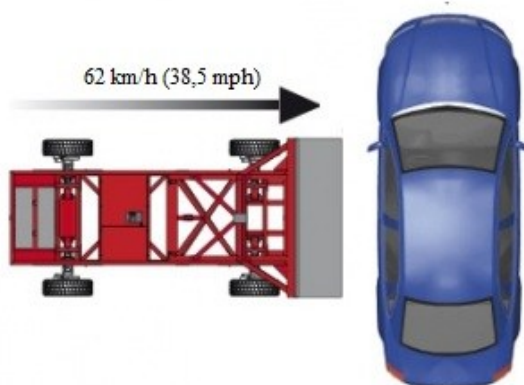


*Obr. č. 24 – Provedení čelního nárazu podle NHTSA*

*Zdroj: [29]+vlastní zpracování*

#### 4.4.2. Boční náraz

Test bočního nárazu podle NHTSA je opět téměř totožný s testem Euro NCAP pouze s rozdílem rychlosti nárazu, která je zde 62 km/h. 2 testovací figuríny představující průměrné dospělé muže jsou ve vozidle umístěny na sedadle řidiče a na zadním sedadle hned za sedadlem řidiče. Zmíněné obsazení vozidla figurínami platí pro testovací náraz do levého boku vozidla (obr. č. 25). Pro případ testování nárazu do pravého boku vozidla, který je také možno testovat, jsou figuríny umístěny na opačnou stranu vozidla (stranu nárazu). [22,23]



*Obr. č. 25 – Provedení bočního nárazu podle NHTSA*

*Zdroj: [29]+vlastní zpracování*

#### 4.4.3. Test převrácení

NHTSA jako jediná organizace provádí testování náchylnosti vozidel k převrácení. Test se skládá ze statické a dynamické složky a je převážně určen pro vozy typu SUV.

Statická složka se provádí pouze pomocí výpočtů, které na základě informací o rozchodu kol a vzdálenosti těžiště vozidla od silnice, stanoví míru rizika převrácení testovaného vozidla.

Součástí dynamické složky je zvažení vozidla s pěti cestujícími a plnou nádrží paliva. Následně je vozidlo vystaveno simulaci náhlé změny jízdního pruhu, zatímco je pomocí počítačů prováděno zaznamenávání pohybu pneumatik. Pokud dojde k nadzvednutí dvou pneumatik současně do výšky 5,1 cm (2 palce), je vozidlo vyhodnoceno jako náchylné k převrácení. [22,23]



*Obr. č. 26 – Provedení testu převrácení podle NHTSA*

*Zdroj: [30]*

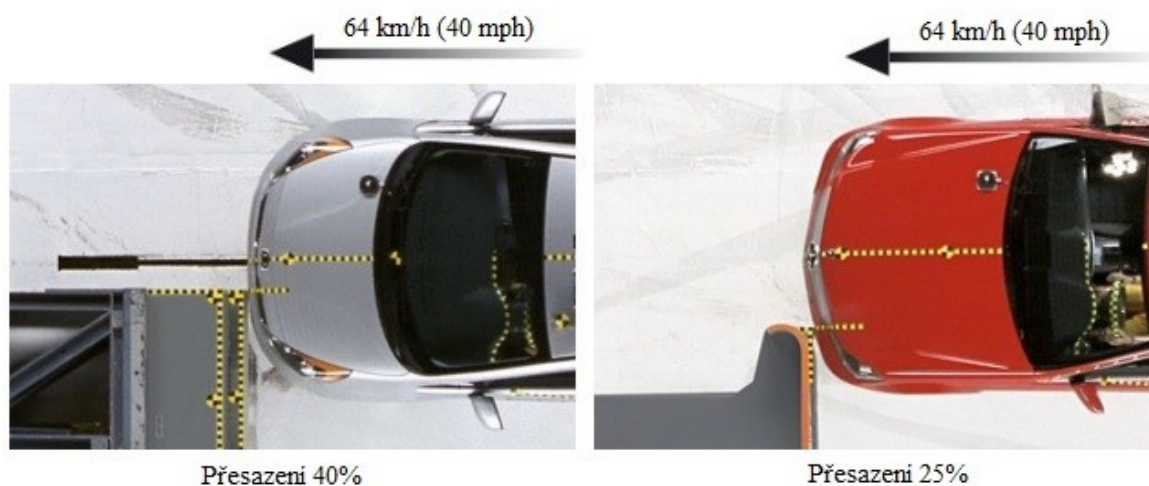
#### 4.5. IIHS

IIHS je po NHTSA druhá organizace zabývající se testováním bezpečnosti automobilů v Americe. Obě organizace však nejsou vzájemnými konkurenty, nýbrž se navzájem doplňují a spolupracují s cílem dosáhnout v této zemi vyšší úrovně bezpečnosti automobilů. Jako výsledek testování automobilů používají hodnocení typu dobré, přijatelné, mezní, špatné, namísto hvězdkového systému jako u předchozích dvou organizací. V rámci tohoto programu se testuje čelní náraz, boční náraz a náraz zezadu. IIHS provádí i dynamický test nárazníků v nízké rychlosti, který však nehodnotí bezpečnost, ale spíše míru poškození vozu a finanční náklady na opravu a proto se jím nebudu dále zabývat. [23,24]



#### 4.5.1. Čelní náraz

IIHS provádí čelní nárazy vozidla ve dvou různých provedeních a za odlišných podmínek než je tomu u NHTSA. V obou případech je náraz proveden s přesazením a do pevné deformovatelné bariéry při rychlosti 64 km/h (40 mph). U prvního typu testu (obr. 27 vlevo) činí nárazová plocha 40 % z celkové plochy přední části vozu. Zatímco při druhém testu (obr. 27 vpravo) je nárazová plocha pouhých 25%. Při obou testech je jedna figurína typu Hybrid III, představující průměrného dospělého muže, umístěna na místo řidiče, protože toto místo ve vozidle je nejvíce ovlivněno tímto typem nárazu. [23,24]



Obr. č. 27 – Porovnání různých provedení čelního nárazu podle IIHS

Zdroj: [24]+vlastní zpracování

#### 4.5.2. Boční náraz

Ten je zde ve stejném provedení jako u NHTSA se třemi odlišnostmi. Mobilní deformovatelná bariéra je o 130 kg těžší (1497 kg) a vyšší než u NHTSA. Nárazová rychlost činí 50 km/h (31 mph) oproti 62 km/h (38,5 mph) v předchozím případě. Umístění testovacích figurín je shodné s tím rozdílem, že se nejedná o figuríny průměrných dospělých mužů, ale svou konstrukcí a rozměry představují 2 malé ženy nebo děti. [23,24]

#### 4.5.3. Náraz zezadu

Tento test je zaměřený na poranění krku a hlavy vlivem nárazu zezadu. Stejně jako test převrácení u NHTSA, skládá se i tento ze statické a dynamické zkoušky. Při statické zkoušce je figurína dospělého muže umístěna na sedadlo řidiče, které je nastaveno na úhel 25% a hlavová opěrka by měla být maximálně 8,9 centimetrů od temene hlavy a 10,1

centimetrů od spodní části hlavy. Správná tvarová konstrukce se hodnotí stylem dobrý až špatný.

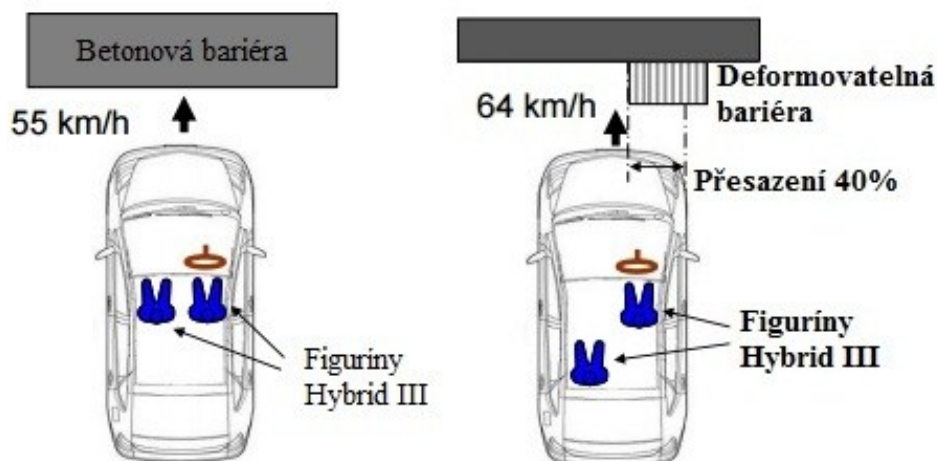
K dynamické zkoušce jsou připuštěny pouze vozidla s výsledkem dobrý nebo přijatelný ze statické zkoušky. Nyní je vozidlo naraženo zezadu rychlostí 32 km/h (20 mph) s jednou dospělou figurínou na místě řidiče a měří se dopad sil na hlavu, krk, páteř a trup. [23,24]

#### 4.6. JNCAP

JNCAP, jako další součást NCAP, je program pro hodnocení bezpečnosti nových automobilů v Japonsku. Výsledné hodnocení je v podobě hvězdiček v počtu 1-5 možných. V rámci programu jsou prováděny testy čelního nárazu, bočního nárazu a nárazu zezadu, při kterých jsou využívány figuríny typu Hybrid III a EuroSID II. [14,25]

##### 4.6.1. Čelní náraz

Čelní náraz je prováděn ve dvou specifikacích. Prvním je náraz celou plochou přední části automobilu v rychlosti 55 km/h do pevné betonové bariéry (obr. č. 28 vlevo). Druhým typem je náraz s přesazením 40% do deformovatelné bariéry v rychlosti 64 km/h (obr. č. 28 vpravo). [14,25]



Obr. č. 28 – Porovnání různých provedení čelního nárazu podle JNCAP

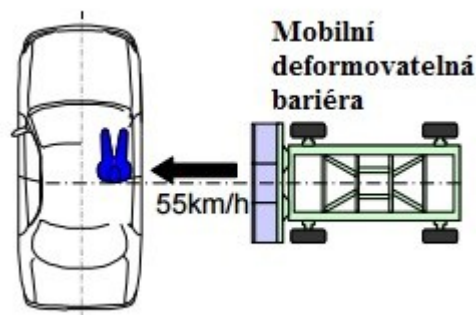
Zdroj: [14] + vlastní zpracování

##### 4.6.2. Boční náraz

Dalším testem v programu JNCAP je náraz pomocí mobilní deformovatelné bariéry do boku vozidla v rychlosti 55 km/h, při němž je použita jedna figurína typu Euro SID-II na sedadle řidiče. Náraz je možno testovat na obou bocích automobilu, ale nejčastěji se testuje



strana řidiče. Na obrázku níže je znázorněn náraz do pravého boku vozidla z důvodu pravostranného řízení v Japonsku. [14,25]

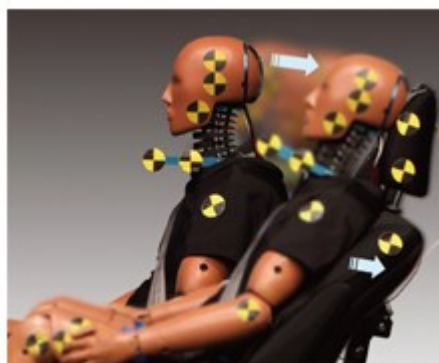


*Obr. č. 29 – Provedení bočního nárazu podle JNCAP*

*Zdroj: [14]+vlastní zpracování*

#### **4.6.3. Náraz zezadu**

Test probíhá za stejných podmínek jako v programu IIHS a jsou tedy prakticky totožné. [14,25]



*Obr. č. 30 – Provedení dynamického testu nárazu zezadu podle JNCAP*

*Zdroj: [14]*

#### **4.7. ANCAP**

Dalším programem pro testování bezpečnosti v rámci NCAP je ANCAP, určený pro testování vozů v Austrálii. Hvězdičkový systém hodnocení a použité typy figurín zůstávají totožné. V rámci programu se provádějí testy čelního nárazu s přesazením, bočního nárazu, bočního nárazu na sloup, test ochrany chodců a náraz zezadu. První 3 zmíněné testy jsou provedeny za totožných podmínek jako tomu je v programu Euro NCAP. Test nárazu zezadu je shodný s testem nárazu zezadu v programu JNCAP . [26]

#### 4.8. Souhrnný přehled nárazových zkoušek

Všechny výše zmíněné programy pro testování pasivní bezpečnosti jsou součástí jednotného programu s názvem NCAP, pod který spadá celkem 9 zkoušecích programů v různých zemích po celém světě. Cílem tohoto programu je sjednotit testování bezpečnosti po celém světě a umožnit tak vzájemnou porovnatelnost. Výsledkem je, že jsou testy v rámci různých programů prováděny za stejných nebo velmi podobných podmínek s malými rozdíly podle dané země.

Lokalita	Evropa
Program	Euro NCAP
Typy testů	Čelní náraz s přesazením 40% (64 km/h)
	Boční náraz (50 km/h)
	Boční náraz na sloup (35km/h)
	Test ochrany chodců (40 km/h)

Lokalita	Amerika	
Program	NHTSA	IIHS
Typy testů	Čelní náraz bez přesazení (56 km/h)	Čelní náraz s přesazením 25% a 40%(64 km/h)
	Boční náraz (62 km/h)	Boční náraz (50 km/h)
	Test převrácení	Náraz zezadu (32 km/h)

Lokalita	Japonsko	Austrálie
Program	JNCAP	ANCAP
Typy testů	Čelní náraz bez přesazení a s přesazením 40% (64 km/h)	Čelní náraz s přesazením 40% (64 km/h)
	Boční náraz (55 km/h)	Boční náraz (50 km/h)
	Náraz zezadu (32 km/h)	Boční náraz na sloup (35km/h)
		Test ochrany chodců (40 km/h)
		Náraz zezadu (32 km/h)

Obr. č. 31 – Souhrnný přehled nárazových zkoušek

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Testování čelního a bočního nárazu je součástí všech zmíněných programů. Rozdíly při čelním nárazu jsou ve velikosti nárazové plochy automobilu, kde například v programu NHTSA se náraz provádí pouze celou plochou přední části bez přesazení, kdežto v případě Euro NCAP a ANCAP jen s přesazením 40%. Naopak v případě JNCAP se provádí oba typy, jak s přesazením, tak bez něj. Dalším rozdílem jsou nárazové rychlosti, které jsou v případě nárazu bez přesazení do betonové bariéry v rámci programu NHTSA a JNCAP 56 km/h a při nárazech s přesazením do deformovatelné bariéry ve všech programech 64 km/h. Dalším testem prováděným všemi programy je boční náraz pomocí deformovatelné bariéry, kde jsou rozdíly jen v rychlostech nárazu. Obdobným bočním testem je boční náraz na sloup, který je prováděn jen v Evropě a Austrálii a to za stejných podmínek. Dalším nejrozšířenějším testem je náraz zezadu, který je prováděn za stejných podmínek v

rámci programů IIHS, JNCAP a ANCAP. Posledním typem testů a zároveň jediným testem zabývajícím se vyloženě vnější pasivní bezpečností je test ochrany chodců, který je prováděn v programech Euro NCAP a ANCAP v totožném provedení a shodné nárazové rychlosti 40 km/h.

Určit, který z testovacích programů v jednotlivých zemích je nejlepší, se jednoznačně určit nedá, ale podle mého názoru má aktuálně nejkomplexnější podobu Australský testovací program ANCAP. Důvodem je jeho největší počet různých testů bezpečnosti v porovnání s ostatními zkoušecími programy, což podtrhuje jeho univerzálnost a schopnost otestovat nejvíce aspektů daného automobilu.

## **5. Vzájemná kompatibilita vozidel při nárazu**

O vozidle se říká, že je kompatibilní (slučitelné, vyhovující, přípustné) pro náraz na pevnou bariéru až do určité rychlosti, při níž splnilo limity předepsané pro přežití cestujících. Při srážce dvou vozidel je pak důležitá vzájemná kompatibilita vozidel, která závisí zejména na deformačních vlastnostech a hmotnosti nejen vlastního, nýbrž i vozidla druhého účastníka nehody. [3]

Jinými slovy kompatibilita vozidel zajišťuje přibližně stejný stupeň ochrany pasažérů při střetu vozidel různých hmotností a velikostí. Je možno říct, že vozidla jsou k sobě navzájem přívětivá

### **5.1. Mechanika čelní srážky dvou vozidel**

V této části práce je pomocí matematických vzorců uveden průběh čelního střetu dvou vozidel v závislosti na jejich hmotnosti a rychlostech před nárazem.

Předpoklady pro výpočet:

- $m_1$  a  $m_2$  jsou hmotnosti vozidel
- $v_{10}$  a  $v_{20}$  jsou rychlosti vozidel před nárazem
- $v_1$  a  $v_2$  jsou rychlosti vozidel po nárazu

Následující postup pro výpočet včetně všech vzorců a úvah jsou převzaty z [2].

Za předpokladu dvou vozidel, která se proti sobě pohybují rychlostí  $v_{10}$  a  $v_{20}$ , lze jejich srážku podle zákona zachování hybnosti zapsat následně:

$$m_1 \cdot v_{10} + m_2 \cdot v_{20} = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 \quad (5.1)$$

Kinetická energie vozidel před nárazem je:

$$E_{k10} = \frac{1}{2} m_1 v_{10}^2 \quad (5.2)$$

$$E_{k20} = \frac{1}{2} m_2 v_{20}^2 \quad (5.3)$$

Kinetická energie po nárazu:

$$E_{k1} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \quad (5.4)$$

$$E_{k2} = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (5.5)$$

Součinitel restituce (poměr rychlosti odrazu  $v$  a rychlosti nárazu  $v_0$ ). Zjišťuje se čelním nárazem vozidla na bariéru:

$$\varepsilon = \left| \frac{v}{v_0} \right| \quad (5.6)$$

Jestliže známe součinitel restituce obou těles, můžeme odrazovou rychlost jednotlivých vozidel zapsat ve tvaru:

$$v_1 = \frac{m_1 v_{10} + m_2 v_{20} - m_2 (v_{10} - v_{20}) \varepsilon}{m_1 + m_2} \quad (5.7)$$

$$v_2 = \frac{m_1 v_{10} + m_2 v_{20} - m_1 (v_{10} - v_{20}) \varepsilon}{m_1 + m_2} \quad (5.8)$$

Za předpokladu plně plastického rázu ( $\varepsilon = 0$ ), tedy vozidla pokračují po srážce stejnou rychlostí  $v_1 = v_2 = v$ , můžeme rovnici (5.1) psát takto:

$$m_1 v_{10} + m_2 v_{20} = (m_1 + m_2) v \quad (5.9)$$

Dále z rovnice (5.9) můžeme vyjádřit rychlost obou vozidel po srážce:

$$v = \frac{m_1 v_{10} + m_2 v_{20}}{m_1 + m_2} \quad (5.10)$$

Kinetická energie vozidel po nárazu je v tomto případě:

$$E_{k1} = \frac{1}{2} m_1 v^2 \quad (5.11)$$

$$E_{k2} = \frac{1}{2} m_2 v^2 \quad (5.11)$$

Energie absorbovaná při nárazu je podle zákona o zachování mechanické energie soustavy:

$$\Delta E_k = (E_{k10} + E_{k20}) - (E_{k1} + E_{k2}) = \frac{1}{2}m_1v_{10}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{20}^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 \quad (5.12)$$

Po dosazení vztahu (5.10) za výslednou rychlost po nárazu do rovnice (5.12) dostaneme:

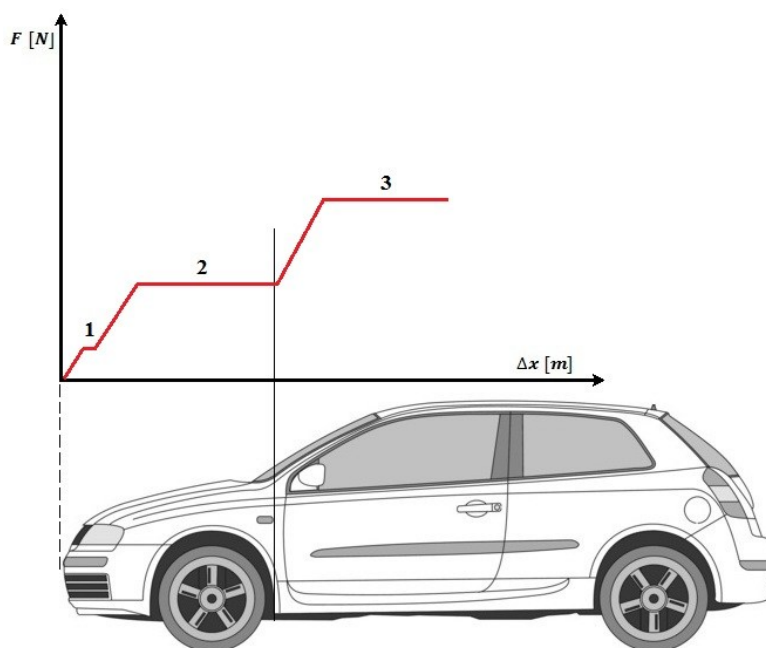
$$\Delta E_k = \frac{m_1m_2}{2(m_1+m_2)}(v_{10} - v_{20})^2 = \frac{m_1m_2}{2(m_1+m_2)}v_r^2 \quad (5.13)$$

kde jsme označili relativní rychlost střetu vozidel:

$$v_r = (v_{10} + v_{20}) \quad (5.14)$$

## 5.2. Vliv deformační charakteristiky přídě

Vnější deformační zóny dnešních automobilů jsou tvořeny plechovými strukturami, které mají elasticko-plasticky deformovatelné vlastnosti. Deformační charakteristika přídě vozidla má v ideálním případě stupňovitý progresivní průběh, který se skládá ze 3stupňů (obr. č. 32). První stupeň deformace je určen pro ochranu ostatních účastníků silničního provozu (chodci, cyklisti) nebo také ochrana při nízkých rychlostech (parkovací manévr). Druhý stupeň slouží k přeměně kinetické energie nárazu na energii deformační a tím zajišťuje kompatibilitu druhého vozidla účastníčícího se nehody, ale taky vlastní ochranu v podobě snahy o dodržení biomechanických kritérií lidského těla. Třetí stupeň je tvořen prostorem pro přežití posádky a nesmí dojít k jeho narušení.



Obr. č. 32 – Deformační charakteristika přídě se stupňovitým průběhem  
Zdroj: Vlastní zpracování

Pro potřeby výpočtů teoretických hodnot deformací a zpomalení je pro nás důležitý 2. stupeň deformační charakteristiky přídě, který musí elasticko-plastickou deformaci pohltit prakticky veškerou energii nárazu a odolat deformační síle působící na přídě vozidla. Existují 3 možnosti průběhu deformační síly.

Základní možnosti průběhu deformační síly:

- Deformační síla je po celou dobu konstantní  $\rightarrow F = konst$
- Deformační síla lineárně závisí na stlačení,  $c$  je konstanta tuhosti přídě  $\rightarrow F_{1,2} = c_{1,2} \cdot \Delta x_{1,2}$
- Deformační síla lineárně závisí na rychlosti stlačení,  $k$  je součinitel tlumení přídě a  $\dot{\Delta x}$  je derivace deformace přídě vozidla podle času  $\rightarrow F = k \cdot \dot{\Delta x}$

V následujícím pokračování této práce budou obsaženy pouze první a druhý průběh deformační síly. Třetí průběh deformační síly je dosažen vlivem pneumatických či hydraulických prvků absorbujících nárazovou energii. Náplní této práce jsou vozidla kategorie M1, u kterých se tento typ absorbérů nárazové energie nevyskytuje.

### 5.2.1. Obě vozidla mají deformační charakteristiky typu $F_{1,2} = konst_{1,2}$

Předpoklady pro výpočet:

- Náraz proběhne čelně celou plochou přední části vozidla bez přesazení
- Ráz vozidel bude plně plastický
- Síla  $F$  potřebná pro deformaci přídě vozidla je po celou dobu konstantní
- Charakteristiky přídí vozidel jsou navrženy tak, aby při nárazu do pevné překážky rychlostí  $v_0 = 80 \text{ km/h}$ , byla hodnota zpomalení maximálně  $a_{max1} = a_{max2} = a_{max} = 300 \text{ m/s}^2$

Následující postup pro výpočet včetně všech vzorců a úvah jsou převzaty z [2].

V prvním kroku se spočítá deformační síla při nárazu vozidla do bariéry rychlostí 80 km/h. Dalším předpokladem je již zmíněná hodnota zpomalení  $a_{max} = 300 \text{ m/s}^2$ :

$$F_{max1} = konst_1 = m_1 a_{max1} \quad (5.15)$$

$$F_{max2} = konst_2 = m_2 a_{max2} \quad (5.16)$$

Energie pohlcená při čelním střetu dvou vozidel:

$$\Delta E_k = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 \quad (5.17)$$

Protože při čelním střetu platí v každém okamžiku srážky zákon akce a reakce:

$$F_1 = F_2 = F_{1,2} = F_{2,1} = m_1 a_{max1} \quad (5.18)$$

kde  $F_1 = konst_1$  a  $F_2 = konst_2$ ,

můžeme rovnici (5.17) zapsat ve tvaru:

$$\frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_{10} - v_{20})^2 = F_{1,2} (\Delta x_1 + \Delta x_2) \quad (5.19)$$

Těžší vozidlo se v daném případě nedeformuje vůbec ( $\Delta x_2 = 0$ ) z důvodu potřeby větší deformační síly. Za těchto podmínek lze úpravou vztahu (5.19) spočítat deformaci lehčího vozidla:

$$\Delta x_1 = \frac{\Delta E_k}{F_{1,2}} \quad (5.20)$$

A následně z téhož vztahu (5.19) i hodnotu zpomalení lehčího vozidla:

$$\begin{aligned} \Delta E_k &= F_1 \Delta x_1 = m_1 a_1 \Delta x_1 \rightarrow \\ a_1 &= \frac{\Delta E_k}{m_1 \Delta x_1} \end{aligned} \quad (5.21)$$

Pomocí podmínky (5.19) můžeme spočítat hodnotu zpomalení těžšího vozidla:

$$\begin{aligned} F_1 &= F_2 \\ m_1 a_1 &= m_2 a_2 \rightarrow \\ a_2 &= \frac{m_1 a_1}{m_2} \end{aligned} \quad (5.22)$$

### 5.2.2. Obě vozidla mají deformační charakteristiky typu $F_{1,2} = c_{1,2} \cdot \Delta x_{1,2}$

Předpoklady pro výpočet:

- Náraz proběhne čelně celou plochou přední části vozidla bez přesazení
- Ráz vozidel bude plně plastický
- Síla  $F$  potřebná pro deformaci příďe vozidla je po celou dobu lineárně závislá na stlačení příďe
- Charakteristiky příďí vozidel jsou navrženy tak, aby při nárazu do pevné překážky rychlostí  $v_0 = 80 \text{ km/h}$ , byla hodnota zpomalení maximálně  
 $a_{max1} = a_{max2} = a_{max} = 300 \text{ m/s}^2$

Následující postup pro výpočet včetně všech vzorců a úvah jsou převzaty z [2].

V prvním kroku se spočítá deformační síla při nárazu vozidla do bariéry rychlostí 80 km/h. Dalším předpokladem je již zmíněná hodnota zpomalení  $a_{max} = 300 \text{ m/s}^2$ :

$$F_{max1} = m_1 \cdot a_{max1} = c_1 \cdot \Delta x_1 \quad (5.23)$$

$$F_{max2} = m_2 \cdot a_{max2} = c_2 \cdot \Delta x_2 \quad (5.24)$$

Maximální deformace jednotlivých vozidel při tomto typu nárazu:

$$\Delta x_{max1} = \frac{F_1}{c_1} = \frac{m_1 a_{max1}}{c_1} \quad (5.25)$$

$$\Delta x_{max2} = \frac{F_2}{c_2} = \frac{m_2 a_{max2}}{c_2} \quad (5.26)$$

Pomocí známých hodnot se získají hodnoty tuhosti přídílů vyšetřovaných vozidel:

$$c_1 = \frac{m_1 a_{max1}^2}{v_0^2} \quad (5.27)$$

$$c_2 = \frac{m_2 a_{max2}^2}{v_0^2} \quad (5.28)$$

V každém okamžiku čelního střetu platí zákon akce a reakce v podobě:

$$(F_1 = F_2) \quad (5.29)$$

$$c_1 \cdot \Delta x_1 = c_2 \cdot \Delta x_2$$

$$\Delta x_1 = \frac{c_2}{c_1} \Delta x_2 \quad (5.30)$$

Celková energie pohlcená při nárazu:

$$\Delta E_k = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 \quad (5.31)$$

$$\Delta E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot x_1^2 = \frac{1}{2} \cdot F_1 \cdot \Delta x_1 \quad (5.32)$$

$$\Delta E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot c_2 \cdot x_2^2 = \frac{1}{2} \cdot F_2 \cdot \Delta x_2 \quad (5.33)$$

Dosazením vzorce (5.30) je možno zapsat ve tvaru:

$$\Delta E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot F_1 \cdot \frac{c_2}{c_1} \cdot \Delta x_2 \quad (5.32)$$

$$\Delta E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot F_2 \cdot \Delta x_2 \quad (5.33)$$

Dosazením vzorce (5.32) a (5.33) do zákona zachování energie se získá energie pohlcená těžším vozem:

$$(F_1 = F_2)$$

$$\Delta E_k = \Delta E_{k1} + \Delta E_{k2}$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot F_1 \cdot \frac{c_2}{c_1} \cdot \Delta x_2 + \frac{1}{2} \cdot F_2 \cdot \Delta x_2$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} F_2 \cdot \Delta x_2 \cdot \left( \frac{c_2}{c_1} + 1 \right)$$



$$\Delta E_k = \Delta E_{k2} \cdot \left( \frac{c_2}{c_1} + 1 \right)$$

$$\Delta E_{k2} = \frac{\Delta E_k}{\left( \frac{c_2}{c_1} + 1 \right)} \quad (5.34)$$

Vyjádřením deformační síly z vzorců (5.32) a (5.33) a dosazením do vzorce (5.29) se získá energie pohlcená lehčím vozidlem:

$$\Delta E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot F_1 \cdot \frac{c_2}{c_1} \cdot \Delta x_2 ; \Delta E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot F_2 \cdot \Delta x_2$$

$$F_1 = \frac{\Delta E_{k1} \cdot 2}{\frac{c_2}{c_1} \cdot \Delta x_2} ; F_2 = \frac{\Delta E_{k2} \cdot 2}{\Delta x_2}$$

$$(F_1 = F_2)$$

$$\frac{\Delta E_{k1} \cdot 2}{\frac{c_2}{c_1} \cdot \Delta x_2} = \frac{\Delta E_{k2} \cdot 2}{\Delta x_2}$$

$$\Delta E_{k1} = \Delta E_{k2} \cdot \frac{c_2}{c_1} \quad (5.35)$$

Následně je možno stanovit hodnoty deformací jednotlivých vozidel:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta x^2 \rightarrow \Delta x = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_k}{c}}$$

$$\Delta x_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_{k1}}{c_1}} \quad (5.36)$$

$$\Delta x_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_{k2}}{c_2}} \quad (5.37)$$

Na závěr budou stanoveny hodnoty zpomalení jednotlivých vozidel:

$$F = c \cdot x = m \cdot a \rightarrow a = \frac{c \cdot x}{m}$$

$$a_1 = \frac{c_1 \cdot \Delta x_1}{m_1} \quad (5.38)$$

$$a_2 = \frac{c_2 \cdot \Delta x_2}{m_2} \quad (5.39)$$

### 5.2.3. Pro charakteristiku lehčího vozidla $F_1 = konst_1$ a charakteristiku těžšího vozidla $F_2 = c_2 \cdot \Delta x_2$

Předpoklady pro výpočet:

- Náraz proběhne čelně celou plochou přední části vozidla bez přesazení
- Ráz vozidel bude plně plastický

- Síla  $F_2$  potřebná pro deformaci přidě těžšího vozidla je po celou dobu lineárně závislá na stlačení přidě
- Síla  $F_1$  potřebná pro deformaci přidě lehčího vozidla je po celou dobu konstantní
- Charakteristiky přidě vozidel jsou navrženy tak, aby při nárazu do pevné překážky rychlostí  $v_0 = 80 \text{ km/h}$ , byla hodnota zpomalení maximálně  
 $a_{max1} = a_{max2} = a_{max} = 300 \text{ m/s}^2$

Následující postup pro výpočet včetně všech vzorců a úvah jsou převzaty z [2].

V prvním kroku se spočítá deformační síla při nárazu vozidla do bariéry rychlostí 80 km/h. Dalším předpokladem je již zmíněná hodnota zpomalení  $a_{max} = 300 \text{ m/s}^2$ :

$$F_{max1} = m_1 \cdot a_{max1} \quad (5.40)$$

$$F_{max2} = m_2 \cdot a_{max2} = c_2 \cdot \Delta x_2 \quad (5.41)$$

Celková energie pohlcená při nárazu:

$$\Delta E_k = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 \quad (5.42)$$

Energie, kterou pohltní jednotlivá vozidla je možno zapsat:

$$\Delta E_{k1} = F_1 \cdot \Delta x_1 \quad (5.43)$$

$$\Delta E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_2^2}{c_2} \quad (5.44)$$

Podle zákona zachování energie platí:

$$\Delta E_k = \Delta E_{k1} + \Delta E_{k2} \quad (5.45)$$

$$\frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 = F \cdot \Delta x_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{c_2} \quad (5.46)$$

Pomocí vzorce (5.46) je možno vyjádřit deformaci lehčího vozidla:

$$\Delta x_1 = \frac{1}{2 \cdot F} \cdot \left( \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} (v_{10} + v_{20})^2 - \frac{F^2}{c_2} \right) \quad (5.47)$$

Ze vzorce (5.47) je možno definovat podmínku, aby deformace lehčího vozidla nebyla v záporných hodnotách:

$$\frac{F_1^2}{c_2} \geq \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 \rightarrow \text{nedojde k deformaci lehčího vozidla}$$

$$\frac{F_1^2}{c_2} < \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 \rightarrow \text{dojde k deformaci lehčího vozidla}$$

V případě, že dojde k deformaci lehčího vozidla, platí po celou dobu srážky zákon akce a reakce:

$$F_1 = F_2 = F$$

Maximální hodnota deformační síly při srážce je  $F_1$ , a to z důvodu, že při této hodnotě se začne deformovat lehčí automobil. Hodnota deformace se určí ze vzorce (5.47)

Následně je pomocí vzorce (5.43) možno stanovit energii, kterou pohltí lehčí automobil:

Energie pohlcená těžším vozidlem pomocí úpravy vzorce (5.45):

$$\Delta E_{k2} = \Delta E_k - \Delta E_{k1} \quad (5.48)$$

Deformace těžšího vozidla vyjádřením ze vzorce pohlcené energie těžšího vozidla:

$$\Delta E_{k2} = \frac{1}{2} \cdot c_2 \cdot \Delta x_2^2 \rightarrow \Delta x_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_{k2}}{c_2}} \quad (5.49)$$

Úpravou vzorců (5.40) a (5.41) a dosazením je možno spočítat zpomalení obou vozidel:

$$F = m \cdot a \rightarrow a = \frac{F_1}{m}$$

$$a_1 = \frac{F_1}{m_1} \quad (5.50)$$

$$a_2 = \frac{F_1}{m_2} \quad (5.51)$$

## 6. Hodnocení vybraných vozidel

Pro účely hodnocení bylo vybráno 12 různých vozidel ve 3 kategoriích. Vozidla a jejich parametry byly získány z [32].

- 1. kategorie: 4 vozy ze třídy minivůz a malý vůz s délkou do 4 metrů a váhou do 1200 kg (v tabulce č. 1 jsou zvýrazněny oranžovou barvou).
- 2. kategorie: 4 vozy ze střední třídy do délky 4,8 metrů a váhou do 1800 kg (v tabulce č. 1 jsou zvýrazněny modrou barvou).
- 3. kategorie: 4 vozy z vyšší střední a luxusní třídy s délkou nad 4,8 metrů a váhou nad 1800 kg (v tabulce č. 1 jsou zvýrazněny zelenou barvou).

Cílem této kapitoly je stanovit hodnoty deformací a zpomalení vozidel při vzájemném čelním střetu. Výpočty hodnot proběhnou formou početní metody podle postupů, které byly uvedeny v kapitolách 5.2.1. až 5.2.3. Aby se předešlo rozdílům v technologickém

vývoji a konstrukci karosérií, byly zvoleny automobily, které byly vyrobeny v letech 2003-2004.

Tab. č. 1: Vybraná vozidla k porovnání [31]

	Typ vozidla	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Hmotnost [kg]	Vyráběno v letech
1	Daewoo Matiz	3495	1495	1485	871	1998-2005
2	Fiat Punto	3865	1660	1480	950	1999-2003
3	Peugeot 206	3822	1673	1435	1025	1998-2003
4	Škoda Fabia	3960	1646	1450	1130	2000-2007
5	Alfa Romeo 156	4430	1745	1415	1320	1997-2005
6	Peugeot 406	4598	1765	1412	1445	1995-2004
7	Audi A4	4573	1777	1391	1595	2002-2006
8	Volkswagen Passat R36	4765	1820	1472	1710	2004-2014
9	Lancia Thesis	4888	1830	1470	1890	2001+
10	Audi A8 L	5164	1880	1438	1980	1994-2003
11	Mercedes S Long	5206	1871	1473	2120	2004+
12	BMW 7	5072	1902	1473	2200	2004-2007

Pro usnadnění výpočtů byl vytvořen jeden průměrný zástupce každé kategorie. Tedy vozidlo, jehož hmotnost má průměrnou hodnotu hmotností vozidel dané kategorie. Jelikož použitý matematický model pro výpočet deformací a zpomalení není dokonale uzpůsoben pro střet dvou vozidel stejné hmotnosti, budou výpočty uvažovány pouze střety dvou vozidel různých kategorií.

Tab. č. 2: Zástupci jednotlivých kategorií vozidel

	Hmotnost [kg]
Průměrný zástupce automobilů nižší třídy	994
Průměrný zástupce automobilů střední třídy	1518
Průměrný zástupce automobilů vyšší třídy	2048

### 6.1. Skutečný výpočet pro vybraná vozidla pro charakteristiku typu

$$F_{1,2} = konst_{1,2}$$

Předpoklady pro výpočet:

- Náraz proběhne čelně celou plochou přední části vozidla bez přesazení
- Ráz vozidel bude plně plastický

- Síla  $F$  potřebná pro deformaci přidě vozidel je po celou dobu konstantní
- Charakteristiky přidě vozidel jsou navrženy tak, aby při nárazu do pevné překážky rychlostí  $v_0 = 80 \text{ km/h}$ , byla hodnota zpomalení maximálně

$$a_{\max 1} = a_{\max 2} = a_{\max} = 300 \text{ m/s}^2$$

- Hodnoty pro výpočet:  $a_{\max 1} = a_{\max 2} = a_{\max} = 300 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ,  $m_1 = 994 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 1518 \text{ kg}$ ,  $v_0 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ,  $v_{10} = v_{20} = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 16,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

V prvním kroku se spočítají deformační síly při nárazu vozidel do bariéry rychlostí 80 km/h podle vzorce (5.15) a (5.16). Dalším předpokladem je již zmíněná hodnota zpomalení  $a_{\max} = 300 \text{ m/s}^2$ :

$$\begin{aligned} F_{\max 1} &= m_1 a_{\max 1} = 994 \cdot 300 = 298200 \text{ N} \\ F_{\max 2} &= m_2 a_{\max 2} = 1518 \cdot 300 = 455250 \text{ N} \end{aligned}$$

Podle zákona akce a reakce, vzorec (5.18), je možno psát:

$$F_1 = F_2 = F_{1,2} = F_{2,1} = m_1 a_{\max 1} = 994 \cdot 300 = 298200 \text{ N}$$

Energie pohlcená při čelním střetu dvou vozidel podle vzorce (5.17):

$$\Delta E_k = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 = \frac{994 \cdot 1518}{2 \cdot (994 + 1518)} \cdot (16,66 + 16,66)^2 = 333397,2 \text{ J}$$

Nyní je možno spočítat deformaci lehčího vozidla podle vzorce (5.20):

$$\Delta x_1 = \frac{\Delta E_k}{F_{1,2}} = \frac{333397,2}{298200} = 1,118 \text{ m}$$

Zpomalení lehčího vozidla podle vzorce (5.21):

$$a_1 = \frac{\Delta E_k}{m_1 \Delta x_1} = \frac{333397,2}{994 \cdot 1,118} = 300 \text{ m/s}^2$$

Zpomalení těžšího vozidla podle vzorce (5.22):

$$a_2 = \frac{m_1 a_1}{m_2} = \frac{994 \cdot 300}{1518} = 196,5 \text{ m/s}^2$$

## 6.2. Skutečný výpočet pro vybraná vozidla pro charakteristiku typu

$$F_{1,2} = c_{1,2} \cdot \Delta_{1,2}$$

Předpoklady pro výpočet:

- Náraz proběhne čelně celou plochou přední části vozidla bez přesazení
- Ráz vozidel bude plně plastický

- Síla  $F$  potřebná pro deformaci přídě vozidel je po celou dobu lineárně závislá na stlačení přídě
- Charakteristiky přídí vozidel jsou navrženy tak, aby při nárazu do pevné překážky rychlostí  $v_0 = 80 \text{ km/h}$ , byla hodnota zpomalení maximálně

$$a_{max1} = a_{max2} = a_{max} = 300 \text{ m/s}^2$$

- Hodnoty pro výpočet:  $a_{max1} = a_{max2} = a_{max} = 300 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ,  $m_1 = 994 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 1518 \text{ kg}$ ,  $v_0 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ,  $v_{10} = v_{20} = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 16,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

V prvním kroku se spočítají deformační síly při nárazu vozidel do bariéry rychlostí 80 km/h podle vzorce (5.23) a (5.24). Dalším předpokladem je již zmíněná hodnota zpomalení  $a_{max} = 300 \text{ m/s}^2$ :

$$F_{max1} = m_1 a_{max1} = 994 \cdot 300 = 298200 \text{ N}$$

$$F_{max2} = m_2 a_{max2} = 1518 \cdot 300 = 455250 \text{ N}$$

Tuhost přídě lehčího vozidla podle vzorce (5.27):

$$c_1 = \frac{m_1 a_{max1}^2}{v_0^2} = \frac{994 \cdot 300^2}{\left(\frac{80}{3,6}\right)^2} = 181157 \text{ N/m}$$

Tuhost přídě lehčího vozidla podle vzorce (5.28):

$$c_2 = \frac{m_2 a_{max2}^2}{v_0^2} = \frac{1518 \cdot 300^2}{\left(\frac{80}{3,6}\right)^2} = 276564 \text{ N/m}$$

Celková energie pohlcená při nárazu podle vzorce (5.31):

$$\Delta E_k = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 = \frac{994 \cdot 1518}{2 \cdot (994 + 1518)} \cdot (16,66 + 16,66)^2 = 333397,2 \text{ J}$$

Energie pohlcená těžším vozidlem podle vzorce (5.34):

$$\Delta E_{k2} = \frac{\Delta E_k}{\left(\frac{c_2}{c_1} + 1\right)} = \frac{333397,2}{\left(\frac{276564}{181157} + 1\right)} = 131951,7 \text{ J}$$

Energie pohlcená lehčím vozidlem podle vzorce (5.35):

$$\Delta E_{k1} = \Delta E_{k2} \cdot \frac{c_2}{c_1} = 131951,7 \cdot \frac{276564}{181157} = 201445,4 \text{ J}$$

Deformace lehčího vozidla podle vzorce (5.36):

$$\Delta x_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_{k1}}{c_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 201445,4}{181157}} = 1,491 \text{ m}$$

Deformace lehčího vozidla podle vzorce (5.37):

$$\Delta x_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_{k2}}{c_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 131951,7}{276564}} = 0,977 \text{ m}$$

Hodnota zpomalení lehčího vozidla podle vzorce (5.38):

$$a_1 = \frac{c_1 \cdot \Delta x_1}{m_1} = \frac{181157 \cdot 1,491}{994} = 271,8 \text{ m/s}^2$$

Na závěr se stanoví hodnota zpomalení těžšího vozidla podle vzorce (5.39):

$$a_2 = \frac{c_2 \cdot \Delta x_2}{m_2} = \frac{276564 \cdot 0,977}{1518} = 178 \text{ m/s}^2$$

### 6.3. Skutečný výpočet pro vybraná vozidla pro charakteristiku lehčího vozidla

$F_1 = konst_1$  a charakteristiku těžšího vozidla  $F_2 = c_2 \cdot \Delta x_2$

Předpoklady pro výpočet:

- Náraz proběhne čelně celou plochou přední části vozidla bez přesazení
- Ráz vozidel bude plně plastický
- Síla  $F_2$  potřebná pro deformaci přídě těžšího vozidla je po celou dobu lineárně závislá na stlačení přídě
- Síla  $F_1$  potřebná pro deformaci přídě lehčího vozidla je po celou dobu konstantní
- Charakteristiky přídí vozidel jsou navrženy tak, aby při nárazu do pevné překážky rychlostí  $v_0 = 80 \text{ km/h}$ , byla hodnota zpomalení maximálně  
 $a_{max1} = a_{max2} = a_{max} = 300 \text{ m/s}^2$
- Hodnoty pro výpočet:  $a_{max1} = a_{max2} = a_{max} = 300 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ,  $m_1 = 994 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 1518 \text{ kg}$ ,  $v_0 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ,  $v_{10} = v_{20} = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 16,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

V prvním kroku se stanoví hodnota deformační síly, která je potřebná k deformaci lehčího vozidla podle vzorce (5.41):

$$F_{max1} = m_1 a_{max1} = 994 \cdot 300 = 298200 \text{ N}$$

Celková energie pohlcená při nárazu podle vzorce (5.42):

$$\Delta E_k = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 = \frac{994 \cdot 1518}{2 \cdot (994 + 1518)} \cdot (16,66 + 16,66)^2 = 333397,2 \text{ J}$$

Ověření podmínek, podle kterých se stanoví, zda se lehčí vozidlo bude deformovat. (Hodnota tuhosti přidě těžšího vozidla  $c_2$  byla použita z kapitoly 6.2.

$$\frac{F_1^2}{c_2} = \frac{298200^2}{276564} = 321528,6 \text{ N/m}$$

$$\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_{10} + v_{20})^2 = \frac{994 \cdot 1518}{994 + 1518} \cdot (16,66 + 16,66)^2 = 666881,2 \text{ J}$$

$$\frac{F_1^2}{c_2} < \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 \rightarrow \text{dojde k deformaci lehčího vozidla}$$

Pomocí vzorce (5.47) je možno stanovit hodnotu deformace lehčího vozidla:

$$\Delta x_1 = \frac{1}{2 \cdot F} \cdot \left( \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} (v_{10} + v_{20})^2 - \frac{F^2}{c_2} \right)$$

$$\Delta x_1 = \frac{1}{2 \cdot 298200} \cdot \left( \frac{994 \cdot 1518}{994 + 1518} (16,66 + 16,66)^2 - \frac{298200^2}{276564} \right) = 0,579 \text{ m}$$

Energie, kterou pohltí lehčí vozidlo podle vzorce (5.43):

$$\Delta E_{k1} = F_1 \cdot \Delta x_1 = 298200 \cdot 0,579 = 172633,1 \text{ J}$$

Energie, kterou pohltí těžší vozidlo podle vzorce (5.48):

$$\Delta E_{k2} = \Delta E_k - \Delta E_{k1} = 333397,2 - 172633,1 = 160764,1 \text{ J}$$

Deformace těžšího vozidla podle vzorce (5.49):

$$\Delta x_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_{k2}}{c_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 160764,1}{276564}} = 1,078 \text{ m}$$

Na závěr se stanoví hodnoty zpomalení obou vozidel podle vzorců (5.50) a (5.51):

$$a_1 = \frac{F_1}{m_1} = \frac{298200}{994} = 300 \text{ m/s}^2$$

$$a_2 = \frac{F_1}{m_2} = \frac{298200}{1518} = 197 \text{ m/s}^2$$



## 7. Zhodnocení a doporučení

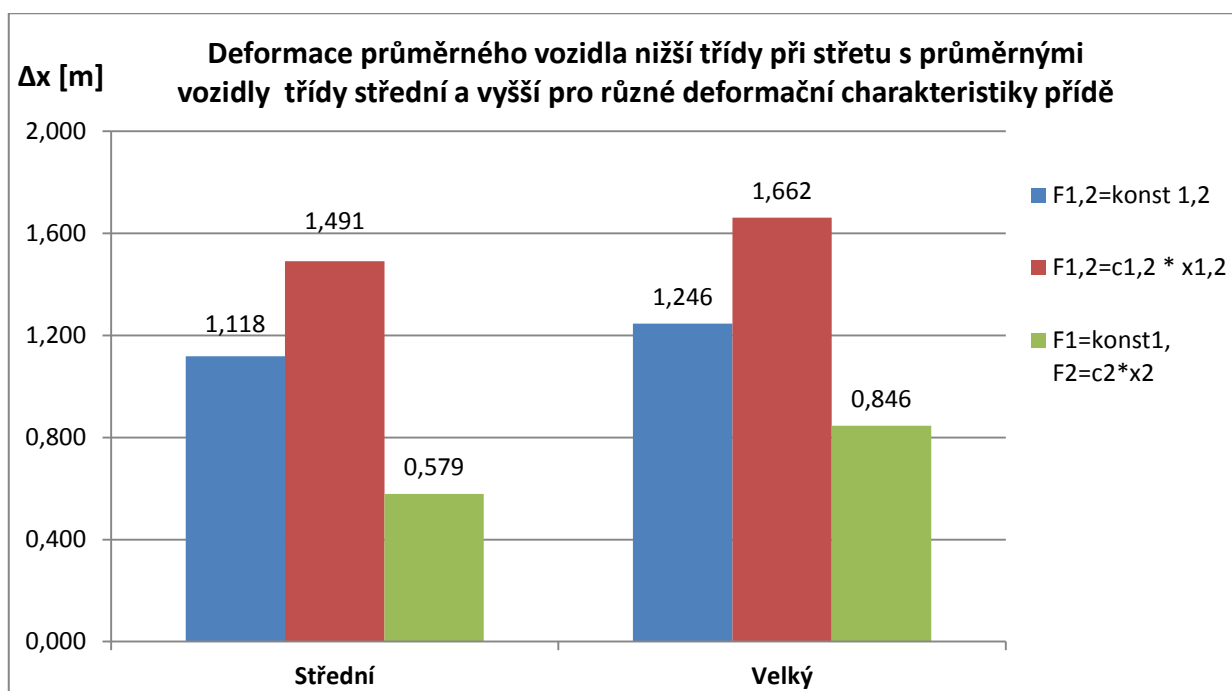
### 7.1. Zhodnocení vozidel z pohledu deformací při čelním nárazu

V následující tabulce č. 2 jsou uvedeny výsledné hodnoty deformací jednotlivých zástupců automobilů v závislosti na různých deformačních charakteristikách přídělí. V první části tabulky jsou uvedeny hodnoty deformace malého automobilu, dále pak středního a nakonec velkého. Jednotlivé deformační charakteristiky jsou odlišeny barvami. Podrobnější informace včetně všech postupů výpočtu jsou uvedeny v příloženém sešitu MS Excel.

Tab. č. 3: Výsledné hodnoty deformací daných automobilů

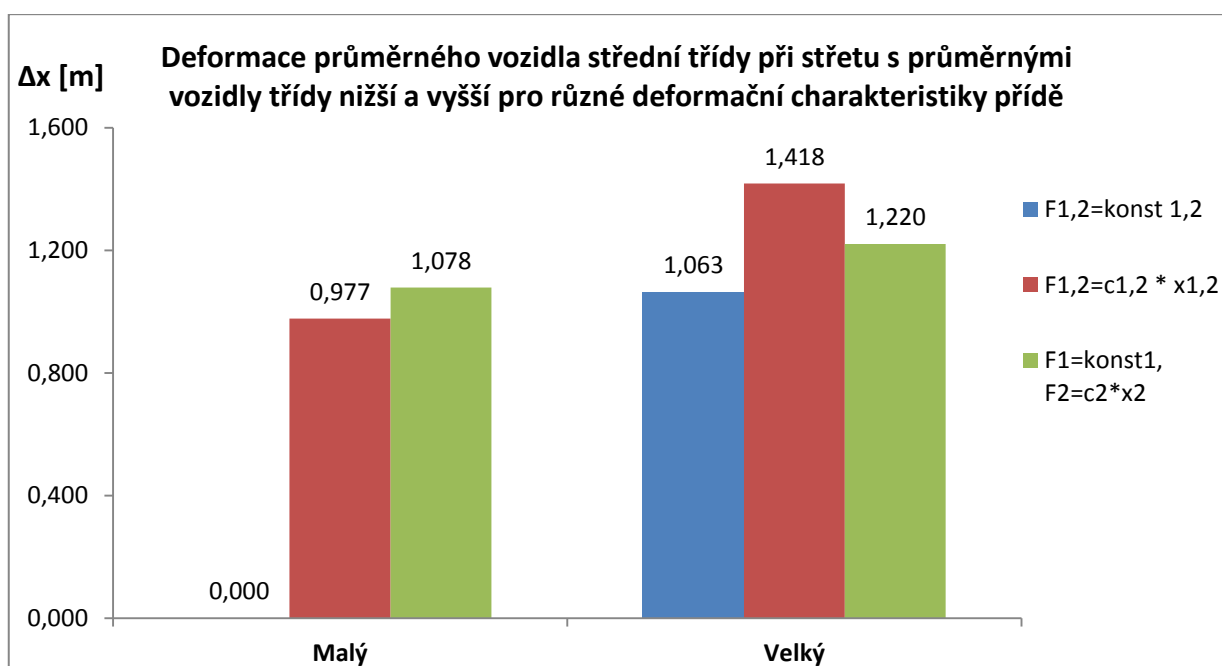
Druhé vozidlo účastníci se střetu	Deform. malého vozu $\Delta x$ [m] pro různé deform. charakt.		
	$F_{1,2}=\text{konst}_{1,2}$	$F_{1,2}=c_{1,2} * \Delta x_{1,2}$	$F_1=\text{konst}_1, F_2=c_2*\Delta x_2$
Střední	1,118	1,491	0,579
Velký	1,246	1,662	0,846
Druhé vozidlo účastníci se střetu	Deform. středního vozu $\Delta x$ [m] pro různé deform. charakt.		
	$F_{1,2}=\text{konst}_{1,2}$	$F_{1,2}=c_{1,2} * \Delta x_{1,2}$	$F_1=\text{konst}_1, F_2=c_2*\Delta x_2$
Malý	0	0,977	1,078
Velký	1,063	1,418	1,220
Druhé vozidlo účastníci se střetu	Deform. velkého vozu $\Delta x$ [m] pro různé deform. charakt.		
	$F_{1,2}=\text{konst}_{1,2}$	$F_{1,2}=c_{1,2} * \Delta x_{1,2}$	$F_1=\text{konst}_1, F_2=c_2*\Delta x_2$
Malý	0	0,807	0,799
Střední	0	1,051	1,220

Hodnoty z této tabulky byly následně vyneseny do grafů, které se nacházejí níže. První graf znázorňuje deformace průměrného vozidla nižší třídy při střetu s průměrnými vozidly třídy střední a vyšší pro různé deformační charakteristiky přídělí. Druhý graf znázorňuje deformace průměrného vozidla střední třídy při střetu s průměrnými vozidly třídy nižší a vyšší pro různé deformační charakteristiky přídělí. A třetí graf znázorňuje deformace průměrného vozidla vyšší třídy při střetu s průměrnými vozidly třídy střední a vyšší pro různé deformační charakteristiky přídělí. Barevné označení jednotlivých deformačních charakteristik odpovídá výše vložené tabulce a také příloženému sešitu MS Excel.



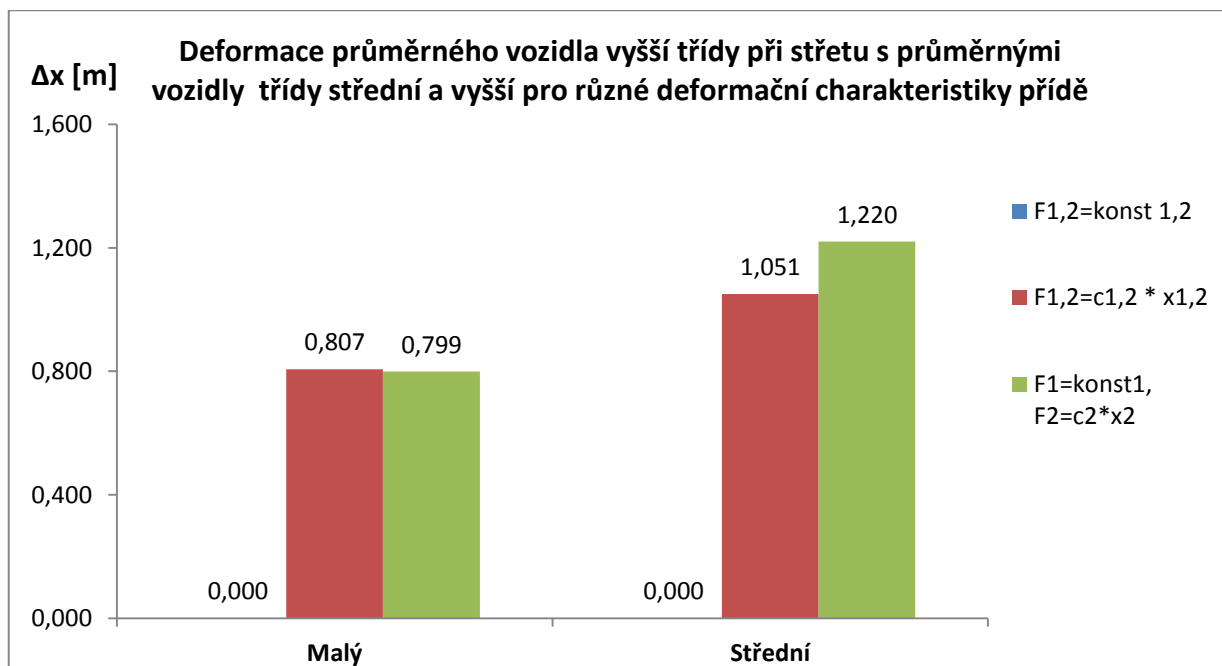
Obr. č. 33 – Grafický přehled jednotlivých deformací malého vozidla

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr. č. 34 – Grafický přehled jednotlivých deformací středního vozidla

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr. č. 35 – Grafický přehled jednotlivých deformací velkého vozidla

Zdroj: Vlastní zpracování

Z údajů v grafech lze vyčíst, že nejlepším řešením z hlediska zachování prostoru pro přežití posádky se jeví deformační charakteristika typu  $F = \text{konst}$ . Avšak v situaci, kdy mají obě vozidla při střetu tuto charakteristiku přidě, vyznívá tato nestupňovitá charakteristika značně nevýhodně pro lehčí automobil. V daném případě je zaznamenána velká agresivita ze strany těžšího automobilu způsobená jeho hmotností a tudíž by příd' lehčího vozidla musela svou deformací pohltit veškerou energii při srážce. To vzhledem k jejím vysokým hodnotám k poměru velikosti automobilu znamená, že by hrozilo narušení prostoru pro přežití posádky malého automobilu. Při hodnocení vzájemné agresivity vozidel se nejlépe jeví deformační charakteristika přídě  $F = c \cdot \Delta x$ , kde dochází k pohlcení části nárazové energie i těžším automobilem. Ale stejně jako v předchozím případě se jeví jako značně nevýhodná pro lehčí automobil v situaci, kdy tuto charakteristiku mají obě vozidla účastníci se srážky. Na základě těchto výsledků by se dala usoudit výhodnost navrhování příd' menších automobilů (do 1500 kg) podle nestupňovité deformační charakteristiky  $F = \text{konst}$ , a příd' velkých automobilů (nad 1500 kg) podle  $F = c \cdot \Delta x$ . Hmotnost 1500 kg byla zvolena na základě hmotnosti průměrného vozidla střední třídy (Tab. č. 2). Tímto by došlo k pohlcení větší části nárazové energie větším vozidlem, u kterého to má daleko menší následky než u vozidel menších, která nemají tak rozměrné deformační oblasti jako velká vozidla.

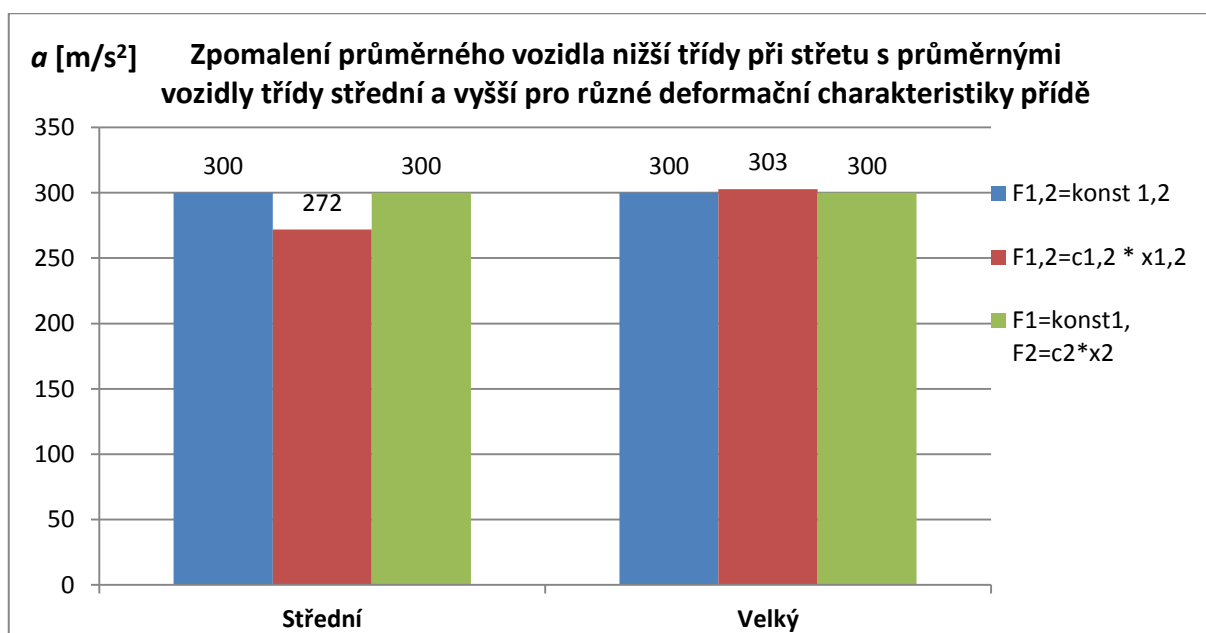
## 7.2. Zhodnocení vozidel z pohledu zpomalení při čelním nárazu

V následující tabulce č. 3 jsou uvedeny výsledné hodnoty zpomalení jednotlivých zástupců automobilů v závislosti na různých deformačních charakteristikách přídělí. V první části tabulky jsou uvedeny hodnoty zpomalení malého automobilu, dále pak středního a nakonec velkého. Jednotlivé deformační charakteristiky jsou odlišeny barvami. Podrobnější informace včetně všech postupů výpočtu jsou uvedeny v příloženém sešitu MS Excel.

Tab. č. 4: Výsledné hodnoty zpomalení daných automobilů

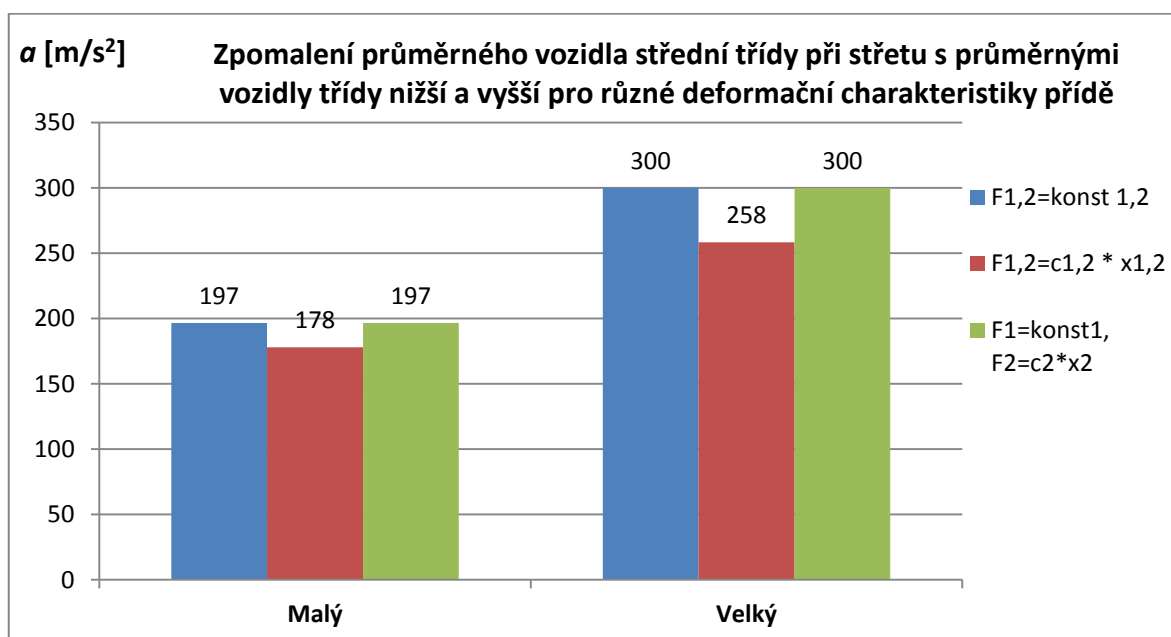
Druhé vozidlo účastníci se střetu	Zpomal. malého vozu $a$ [ $m/s^2$ ] pro různé deform. charakt.		
	$F_{1,2}=\text{konst}_{1,2}$	$F_{1,2}=c_{1,2} * \Delta x_{1,2}$	$F_1=\text{konst}_1, F_2=c_2 * \Delta x_2$
Střední	300	272	300
Velký	300	303	300
Druhé vozidlo účastníci se střetu	Zpomal. středního vozu $a$ [ $m/s^2$ ] pro různé deform. charakt.		
	$F_{1,2}=\text{konst}_{1,2}$	$F_{1,2}=c_{1,2} * \Delta x_{1,2}$	$F_1=\text{konst}_1, F_2=c_2 * \Delta x_2$
Malý	197	178	197
Velký	300	258	300
Druhé vozidlo účastníci se střetu	Zpomal. velkého vozu $a$ [ $m/s^2$ ] pro různé deform. charakt.		
	$F_{1,2}=\text{konst}_{1,2}$	$F_{1,2}=c_{1,2} * \Delta x_{1,2}$	$F_1=\text{konst}_1, F_2=c_2 * \Delta x_2$
Malý	146	147	146
Střední	222	191	222

Hodnoty z této tabulky byly následně vyneseny do grafů, které se nacházejí níže. První graf znázorňuje Zpomalení průměrného vozidla nižší třídy při střetu s průměrnými vozidly třídy střední a vyšší pro různé deformační charakteristiky přídělí. Druhý graf znázorňuje Zpomalení průměrného vozidla střední třídy při střetu s průměrnými vozidly třídy nižší a vyšší pro různé deformační charakteristiky přídělí. A třetí graf znázorňuje Zpomalení průměrného vozidla vyšší třídy při střetu s průměrnými vozidly třídy nižší a střední pro různé deformační charakteristiky přídělí. Barevné označení jednotlivých deformačních charakteristik odpovídá výše vložené tabulce a také příloženému sešitu MS Excel.



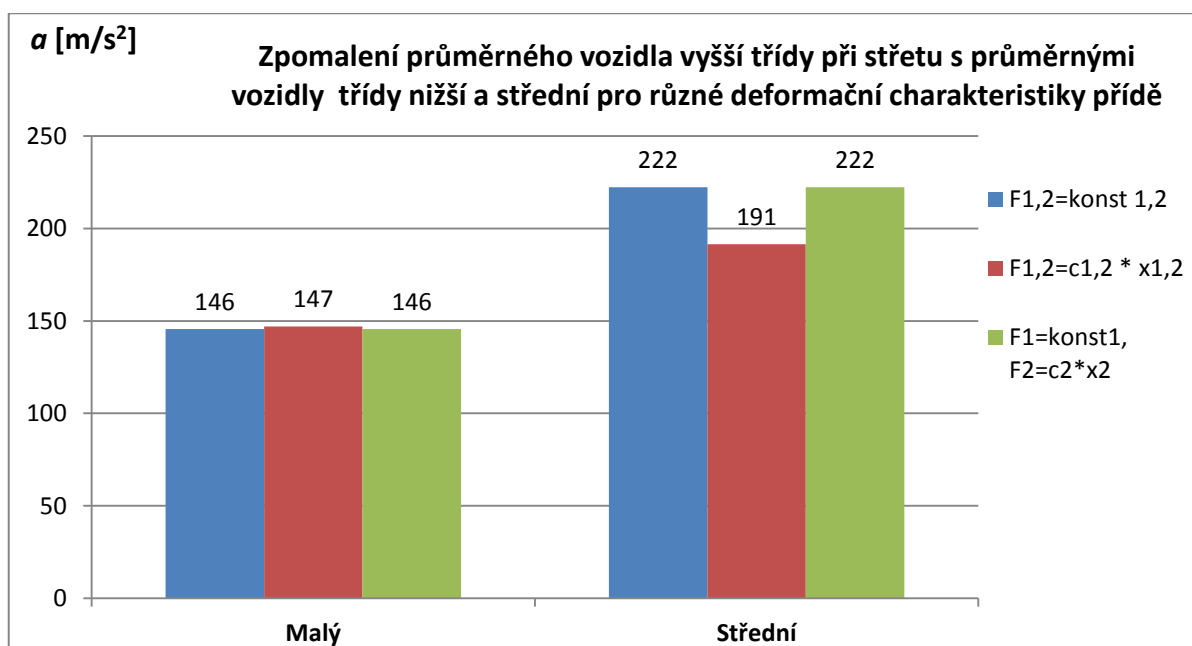
Obr. č. 36 – Grafický přehled jednotlivých zpomalení malého vozidla

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr. č. 37 – Grafický přehled jednotlivých zpomalení středního vozidla

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr. č. 38 – Grafický přehled jednotlivých zpomalení velkého vozidla

Zdroj: Vlastní zpracování

Z údajů v grafech lze vyčíst, že nejlepším řešením z hlediska zpomalení vozidla při nárazu se jeví deformační charakteristika typu  $F = c \cdot \Delta x$ . Ta způsobí pozvolnější rozložení deformace a tím zajistí menší hodnotu zpomalení. Avšak rozdíly mezi jednotlivými deformačními charakteristikami z hlediska zpomalení nejsou tak značné, jako tomu bylo v případě deformací. Rozdíl mezi nejvýhodnějším řešením a tím nejméně výhodným je nanejvýš 14%. Na základě tohoto výsledku se nedá s určitostí rozhodnout o nejvýhodnější variantě deformační charakteristiky přidě.

## 8. Závěr

Hodnota lidského života je nevyčíslitelná a jeho ochrana je nadřazena všemu ostatnímu. Z toho důvodu je kladen obrovský důraz na bezpečnost vozidel, která v posledních letech zaznamenala mohutný a stále pokračující vývoj. Vlivem lidského faktoru k nehodám stále dochází i přes velmi vyspělou úroveň aktivní bezpečnosti vozidel a proto jsem se v mé práci zabýval výhradně bezpečností pasivní, která v daném případě rozhoduje o rozsáhlosti zranění či smrti.

V první části práce jsem se zabýval rozбором prvků pasivní bezpečnosti, které se vyskytují v moderních automobilech při běžném provozu. Ze zmíněných prvků bych vyzdvihl zejména systém aktivní kapoty a vnějších airbagů jako inovativní a pokrokový z hlediska ochrany chodců při střetu s autem. Z hlediska vnitřní bezpečnosti bych vyzdvihl důležitost správné konstrukce karoserie a její deformační vlastnosti, ale také technickou úroveň a vzájemnou spolupráci systému airbagů a bezpečnostních pásů, které dokáží spolu se zmíněnými deformačními vlastnostmi přídě značně zmírnit zpomalení lidského těla při nárazu. Z hlediska lidského těla jsou důležité jeho biomechanické limity, jejichž nepřekročení je možno ověřit pomocí zkoušek pasivní bezpečnosti.

V další části práce jsem proto provedl mapování nejznámějších zkoušek pasivní bezpečnosti ve světě, jejich podrobnou analýzu a vzájemné porovnání. Britská společnost Global NCAP, pod kterou spadá většina testovacích programů v různých zemích světa, disponuje snahou tyto zkušební programy ve světě sjednotit. Výsledkem jsou velmi podobné nebo v některých případech stejné podmínky, za kterých se testy provádí. Úplné shody se prozatím docílit nepodařilo a to zejména z důvodu přílišných odlišností legislativních předpisů jednotlivých zemí. Z mého pohledu se jako nejvíce komplexní testovací program jeví Australský program ANCAP, kterým je možno testovat největší množství aspektů daného automobilu.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, cílem práce bylo porovnání vzájemné agresivity vozidel různých tříd vůči sobě při čelním střetu. K dosažení požadovaných výsledků jsem se řídil veřejně dostupnou literaturou s postupy pro získání teoretických údajů o chování vozidla při nehodě, zejména z hlediska deformací a zpomalení v závislosti na různých charakteristikách přídělí. Tento směr jsem zvolil, protože nebylo možné získat přístup k údajům o reálném chování konkrétních vozidel při nehodě, jakožto výrobnímu tajemství jednotlivých automobilek a vlastní pokusy a měření jsou finančně nákladné. Pro potřeby výpočtů byly uvažovány tři hmotnostní třídy automobilů v podobě nižší, střední a vyšší

třídy, ze kterých jsem vytvořil průměrného zástupce vozidla každé třídy. V první řadě jsem porovnal jejich chování při vzájemné čelní srážce pomocí idealizovaného matematického modelu pro různé podoby zjednodušených deformačních charakteristik přídílí vozidel. Výstupem tohoto modelu jsou konkrétní hodnoty deformací a zpomalení pro jednotlivé třídy vozidel, které byly pro názornější představu vyneseny v grafech.

Po zhodnocení výsledných hodnot jsem usoudil, že při střetu dvou vozidel se to těžší z nich chová značně agresivně vůči vozidlu lehčímu, což je způsobeno rozdílnou vlastní hmotností vozidel. Zmírnit tyto negativní následky pro malé vozidlo je možné například úpravou deformační charakteristiky přidě tak, že se díky nim bude malé vozidlo chovat více agresivně než vozidlo těžší a tím pádem se deformace rozloží přijatelněji do obou vozidel. Další možností je menší využívání malých automobilů na komunikacích, kde hrozí střet s těžšími vozidly za daleko vyšších rychlostí, než je tomu například ve městech.



### **Použitá literatura a zdroje:**

- [1] VLK, F. *Karosérie motorových vozidel*, Brno: vydavatelství Vlk, 2001. 242s. 80-238-5277-9
- [2] VLK, F. *Stavba motorových vozidel*, Brno: vydavatelství Vlk, 2003. 478s. 80-238-8757-2
- [3] VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*, Brno: vydavatelství Vlk, 2001. 576s. 80-238-6573-0
- [4] Kategorie silničních vozidel podle EHK. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: [http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Moodle/1\\_5.pdf](http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Moodle/1_5.pdf)
- [5] Popular science-Volvo airbag for pedestrian. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.popsci.com/cars/article/2013-02/volvos-new-airbags-protect-pedestrians-too>
- [6] Nikkei technology-Toyota airbag for pedestrian. [online]. [cit. 2016-03-4]. Dostupné z: [http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS\\_EN/20080603/152757/?SS=imgview\\_e&FD=-1428224495](http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20080603/152757/?SS=imgview_e&FD=-1428224495)
- [7] Gerdawari-Active car bonnet. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.gerdavari.com/imeni-oto.aspx>
- [8] Wired. [online]. [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.wired.com/2009/05/external-airbag-protects-pedestrians/>
- [9] Fiat Dino UK. [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: [http://www.dinouk.com/diario\\_italiano\\_keys\\_switches.html](http://www.dinouk.com/diario_italiano_keys_switches.html)
- [10] Bezpečné cesty-karoserie vozidel. [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/pasivni-prvky-bezpecnosti/karoserie>
- [11] Mechmes-karoserie vozidel. [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: [http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-03\\_karoserie.pdf](http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-03_karoserie.pdf)
- [12] Opel market-Absorbér nárazu. [online]. [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://www.opelmarket.cz/dily/absorber-narazu-levy-opel-corsa-c-tigra-b-1400247-1209.html>
- [13] Absorbér nárazu. [online]. [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://bazar.automedik.cz/>
- [14] Beta-cae-JNCAP. [online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: [https://www.beta-cae.com/events/c5pdf/2A\\_3\\_ujihashi.pdf](https://www.beta-cae.com/events/c5pdf/2A_3_ujihashi.pdf)
- [15] Volkswagen-Omezovač síly v pásu. [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: [http://app.volkswagen.cz/lexikon/?letter=o&lexicon\\_id=38](http://app.volkswagen.cz/lexikon/?letter=o&lexicon_id=38)

- [16] Autolexicon-Isofix. [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z:  
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/system-isofix/>
- [17] Autopravda-Airbag. [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z:  
<http://auto.pravda.sk/poradna/clanok/109-aj-airbag-ma-svoju-zivotnost/>
- [18] Autolexicon-Aktivní opěrka hlavy. [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z:  
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/aktivni-operka-hlavy/>
- [19] Tech-bel-Hybrid III.. [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z:  
<http://www.tech-bel.com/crash-test-technology/hybrid-iii/>
- [20] Autorevue-Bezpečnostní pásy. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z:  
<http://www.autorevue.cz/bezpecnostni-pasy-vyvoj-se-nezastavil>
- [21] EuroNCAP. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/en>
- [22] NHTSA. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.nhtsa.gov/>
- [23] Autoevolution-NHTSA and IIHS Crash Test Scores Explained. [online]. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.autoevolution.com/news/nhtsa-and-iihs-crash-test-scores-explained-4239.html>
- [24] IIHS. [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z:  
<http://www.iihs.org/iihs/ratings/ratings-info/frontal-crash-tests>
- [25] JNCAP. [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z:  
[http://www.nasva.go.jp/mamoru/en/assessment\\_car/crackup\\_test.html](http://www.nasva.go.jp/mamoru/en/assessment_car/crackup_test.html)
- [26] ANCAP. [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z:  
<https://www.ancap.com.au/crash-testing-explained>
- [27] EuroNCAP. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:  
<http://euroncap.nen.cz/index.php?pid=10>
- [28] EuroNCAP-Pedestrian tests. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:  
[http://www.theaa.com/motoring\\_advice/euroncap/pedestrian.html](http://www.theaa.com/motoring_advice/euroncap/pedestrian.html)
- [29] Moving barrier. [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.messring.de/test-facilities-and-components/moving-barriers/frontal-impact-nhtsa-barrier/>
- [30] NHTSA-Rollover test. [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z:  
<http://auto.howstuffworks.com/automotive-recalls1.htm>
- [31] Katalog automobilů. [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z:  
<http://srovnani.katalog-automobilu.cz/>

## **Seznam příloh**

Příloha A: Sešit aplikace MS Excel s výpočtem a zpracováním hodnot deformací a zpomalení vozidel